



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE.



UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID TLEMCEN

FACULTE DES SCIENCES DE NATURE ET DE VIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

LABORATOIRE DE PHYSIOPATHOLOGIE ET BIOCHIMIE DE LA NUTRITION



THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT

Spécialité : Génétique Appliquée

Intitulé :

**Caractérisation et identification des populations
d'Erables (*Acer L.*) en Algérie**

Soutenu le 26/10/2022

PRESENTE PAR:

Mr: MADIOUNI Mohammed Rida

Devant les membres de jury :

Président :	GAOUAR Semir Suheil	Prof	Université de Tlemcen
Encadrante :	ILIAS Faiza	MCA	Université de Ain Témouchent
Examineur :	MEDJAHDI Boumediene	Prof	Université de Tlemcen
Examineur :	BELLATRECHE Amina	MCA	Université de Tlemcen
Examineur :	SARMOUM Mohamed	MCA	Université de Tiaret
Examineur :	KIROUANI Abderrezzak	MCA	Université de Médéa

Année Universitaire :2022-2023

Dédicace

A l'aide de dieu tout puissant. Nous
avons pu réaliser ce modeste travail que je
dédie a ma mère qui n'a pas un seul
instant cessé de m'encourager et qui était
toujours soucieuse pour ma réussite

mon père, pour son aide

A mes frères

A tout ma famille

A tous mes amis et a tous mes enseignants

Remerciements

*Je témoigne mon entière gratitude à Madame **Faiza Ilias** pour ses enseignements, sa patience et le temps qu'elle m'a consacré tout au long de ce travail.*

*Je remercie vivement Monsieur **Gaouar Semir Bechir Suheil** pour ses précieux conseils ainsi que sa présence et dévouement durant la réalisation de ce travail et tout au long de notre formations en licence, en Master, et maintenant au Doctorat. Merci d'avoir accepté de présider ce jury et d'examiner ce travail.*

*Je tiens aussi à remercier messieurs **Boumediene Medjahedi, Mohammed Sarmoum et Abderrezzak Kirouani** sans oublier Madame **Amina Bellatreche**, D'avoir accepté de juger et examiner ce travail.*

*Un grand merci à **La direction de Parc Nationale de Batna, Blida et Khenchela** de m'avoir accueilli et me permet d'accéder aux stations d'érable a Chréa, Belezma et Ain mimoun, sans oublier biensure Madame **Faiza Takarli**.*

*Je remercie énormément messieurs **Bahri Mohammed et Dhimi Amine**, pour l'accompagnement tout au long des visites établies sur terrain.*

*L'achèvement de ce travail n'aura pu être possible sans l'appui et l'encouragement de ma famille ma femme **Sarra** et mon fils*

Sami, ses mots au téléphone ont été une raison d'enflammer ma volonté de travailler encore mieux.

*Je tiens à remercier ma chère **Maman** pour tous ses sacrifices, je lui dois l'homme que je suis aujourd'hui.*

Je tiens à remercier Allah de m'avoir aidé à terminer ce travail à des milliers de kilomètres loin de mon pays

Ce travail a été écrit et corrigé dans une petite chambre avec un colocataire suédois, à Cape Coast - Ghana sous une grosse pression et stress, j'espère qu'il sera bénéfique pour les générations à venir

Rida M

SOMMAIRE :

LISTE DES ABBREVIATIONS	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I- SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1- INTRODUCTION	3
2- CARACTÈRES BOTANIQUES	3
2-1 Feuilles	4
2-2 Samares	5
2-3 Fleurs	6
3- TAXONOMIE ET SYSTEMATIQUE	6
4- CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES ERABLES	7
5- DISTRIBUTION DES ERABLES DANS LE MONDE	9
6- DISTRIBUTION DES ERABLES EN ALGERIE	10
6-1 Erable Champêtre (<i>Acer campestre</i>)	10
6-2 Erable de Montpellier (<i>Acer monspessulanum</i>)	11
6-3 Erable Feuille d'obier (<i>Acer opalus</i>)	12
6-4 La sous-espèce (<i>Acer obtusatum</i>)	13
6-5 Erable de Norvège (<i>Acer platanoides</i>)	13
7- IMPACT SOCIOECONOMIQUE ET BÉNÉFICES DES ERABLES	15
8- CONCEPTS MORPHOMÉTRIQUES POUR L'IDENTIFICATION DES ERABLES	17
CHAPITRE II- MATÉRIELS ET MÉTHODES	19
1- CAS D'ERABLE DE MONTPELLIER (ACER MONSPESSULANUM L)	19
2- CAS D'ERABLE DE NORVEGE (ACER PLATANOIDES L)	19
3- PROPOSITION DU PROTOCOLE GÉOMÉTRIQUE EXPÉRIMENTALE	29
3-1 Phase (I) Analyse et détermination de Problématique	34
3-2 Phase (II) Échantillonnage sur terrain	34
3-3 Phase (III) : Préparation des Données	35
3-3-1 Intégration des bases de données	38
3-3-2 Initialisation d'un TPS	39
3-3-4 Digitalisation par points de repères	39

3-4 Phase (IV) : Analyse statistique	41
3-4-1 Préparation des données selon une ordination Procruste	42
3-4-2 Type I- Tendances globales	43
3-4-2-1 Régression	45
3-4-3 LDA et MANOVA	46
3-4-4 Analyse descriptive	47
3-4-5 Introduction au Partitionnement des données géométriques	48
3-4-5-1- Préparation et Normalisation des données (Scaling)	48
3-4-5-2- Méthodes de Partitionnement des données	49
3-4-6 Questions (FAQs)	52
CHAPITRE III- RESULTATS ET DISSCUSSION	54
1- CAS D'ERABLE DE MONTPELLIER (ACER MONSPESSULANUM)	54
1-1 Introduction	54
1-2 Tendances Globales de la forme	55
1-3 DISCRIMINATION AU NIVEAU GLOBALE	62
1-3-1 Révélation par le model LDA	62
1-3-2 Révélation par les Distances de Mahalanobis	64
1-3-3 Mesures INTER-populationnelles	65
1-3-4 Mesures INTRA-populationnelles	66
1-3-5 Vérification par MANOVA Non paramétrique	66
1-3-6 Examen des valeurs selon la distribution « F » de Fisher	67
1-4 Discrimination au niveau des sous-espèces	68
1-4-1 Révélation par le model LDA	69
1-4-2 Révélation par les distances de Mahalanobis	70
1-5 Discrimination au niveau populationnel	71
1-5-1 Révélation par le model LDA	71
1-5-2 Examen de type ALL-IN	72
1-6 Partitionnement des données par la technique de (K-means)	73
1-6-1 Détection des Clusters par la Méthode GAP-STATISTICS	74
1-6-2 Resultat de La technique K-means	75
1-6-3 SCRIPTING SUR le langage R	76

2-CAS D'ERABLE DE NORVEGE (ACER PLATANOIDES)	77
2-1 Introduction	77
2-2 Tendances Globales de la forme	78
2-3 Analyse de la taille des feuilles	82
2-4 Discrimination de forme à l'aide de MANOVA	83
2-5 K-means clustering	84
3-Discussion des résultats	86
3-1 Evaluation des populations d'Erable de Montpellier	86
3-2 Evaluation des populations d'Erable de Norvège	89
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	92
ANNEXE	99
RESUME	113

LISTE DES ABBREVIATIONS :

ACP : Analyse en composante Principale

ADN : Acide désoxyribonucléique

ANOVA : Analyse de la Variance

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

LDA : Analyse de Discriminante

MANOVA : Analyse de la Variance multivariée

LM : (Landmark) réfère les points de repères pour construire une analyse géométrique

MGPR : Morphométrie Géométrique par Points de Repères

PC : l'axe de la composante lors d'un ACP

Pr : Coefficient de probabilité parfois nommé P. value

RAPD : Technique basé sur des séquences aléatoire dans une région génomique

SSR : Technique basé sur des séquences entedement ou répétitif dans une région génomique

F : valeurs F de Fisher lors d'une analyse statistique

r : coefficient de corrélation

R² : coefficient de détermination l'ors d'une régression

LISTE DES TABLEAUX :

<i>Tableau 1 : Classification des Erables selon le system APGIII.....</i>	<i>07</i>
<i>Tableau 2 : Coordonnées géographiques des régions enquêtées.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 3 : Taxons, abréviation, pays d'origine et nombre de feuilles inclus dans l'étude...23</i>	
<i>Tableau 4 : Nombre de feuilles d'Acer platanoides numérisées.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 5 : Distances de Mahalanobis entre tous les groupes échantillonnés.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau 6 : signification de la PERMANOVA après la correction de Bonferroni.....</i>	<i>66</i>
<i>Tableau 7 : Valeurs F. de Fisher lors de la MANOVA</i>	<i>67</i>
<i>Tableau 8 : Distances de Mahalanobis entre les alliés d'Acer monspessulanum</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 9 : Statistiques descriptives et valeurs de p de l'ANOVA à un facteur basé sur la taille du centroïde des feuilles (cz)</i>	<i>83</i>
<i>Tableau 10 : Résultats de MANOVA selon les trois populations étudiées.....</i>	<i>84</i>
<i>Tableau 11 : matrice supplémentaire de confusion lors de l'analyse discriminante (niveau globale), pourcentage de classification correcte été 89.25%</i>	<i>99</i>
<i>Tableau 12 : matrice supplémentaire de confusion (Jackknifed) lors de l'analyse discriminante (niveau globale), pourcentage de classification correcte été 86.84%.....</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 13 : matrice supplémentaire de confusion lors de l'analyse discriminante (niveau populationnel), pourcentage de classification correcte été 88.93%.....</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 14 : matrice supplémentaire de confusion (Jackknifed) lors de l'analyse discriminante (niveau populationnel), pourcentage de classification correcte</i>	<i>100</i>
<i>Tableau 15 : matrice supplémentaire de confusion lors de l'analyse discriminante (niveau des sous-espèces), pourcentage de classification correcte été 88.87%</i>	<i>101</i>
<i>Tableau 16 : matrice supplémentaire de confusion (Jackknifed) lors de l'analyse discriminante (niveau des sous-espèces), pourcentage de classification correcte été.....</i>	<i>101</i>

LISTE DES FIGURES :

<i>Figure 1 : Feuilles des Erables.....</i>	<i>04</i>
<i>Figure 2 : Les Angles entre les disamares chez quelques érables</i>	<i>05</i>
<i>Figure 3 : Fleure d'Erable Rouge (Acer rubrum)</i>	<i>06</i>
<i>Figure 4 : hybride Acer x freemanii</i>	<i>08</i>
<i>Figure 5 : Carte de Distribution des Erables dans le monde</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6 : l'Erable champêtre (Acer campestre) région de Taza wilaya de Jijel – Algérie (Photo Originale)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 7 : Erable de Montpellier (Foret de Tel-terni) à Tlemcen (Photo Originale)</i>	<i>12</i>
<i>Figure 8 : Représentation des Erables en Algérie</i>	<i>13</i>
<i>Figure 9 : Erable de Norvège dans la forêt de Chréa (Photo Originale)</i>	<i>14</i>
<i>Figure 10 : Siroup d'Erable (Wilsey & Miedtke 2013)</i>	<i>16</i>
<i>Figure 11 : Répartition générale des espèces liées à, ou étudiées dans cette étude (teintes colorées) et localités échantillonnées (cercles, carrés et étoiles)</i>	<i>19</i>
<i>Figure 12 : population d'Erable de Montpellier dans la foret de Tlemcen-Algerie (photo originale)</i>	<i>20</i>
<i>Figure 13 : La configuration de 15 points de repère appliqués sur une feuille numérisée d'A. monspessulanum algérien</i>	<i>21</i>
<i>Figure 14 : Carte de répartition théorique des espèces d'Acer platanoides</i>	<i>25</i>
<i>Figure 15 : La configuration des 14 points de repère (LM) appliquée sur la feuille d'Acer platanoides algérienne avec les parties anatomiques analysées (AP)</i>	<i>26</i>

<i>Figure 16 : Feuille algérienne d'Acer pseudoplatanus (à gauche) versus feuille algérienne d'Acer platanoides (à droite) récoltée dans la forêt de Chréa.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 17 : Diagramme principale d'une analyse basé sur le protocole géométrique.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 18 : Numérisation d'une série de feuilles d'Erable par une imprimante combinée HP1513 en format JPEG</i>	<i>35</i>
<i>Figure 19 : Visualisation de la base de données GBIF</i>	<i>38</i>
<i>Figure 20 : Technique d'utilisation de TPSutil32</i>	<i>39</i>
<i>Figure 21 : Configuration des données par TPSdig2</i>	<i>40</i>
<i>Figure 22 : Super-imposition d'un objet lors d'une analyse Procruste (Klingenberg 2015)</i>	<i>42</i>
<i>Figure 23 : Révélation des données et de méthode d'ordination par le logiciel Past.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 24 : Formes foliaires en anatomie morphologique d'une feuille notamment l'érable...44</i>	
<i>Figure 25 : Représentation des scores d'ACP en fonction de chaque groupe d'appartenance</i>	<i>45</i>
<i>Figure 26 : Investigation taxonomique des populations d'Erable a plusieurs échelles par la méthode LDA.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 27 : Représentation sur le concept de quelques types de liaisons (linkages).....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 28 : Acer monspessulanum subsp turcomanicum (à droite).....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 29 : Acer kahenae, collection de (R.Maire) en 1920 dans les mont de Chélia (Khenchla), samares bien croisées avec des feuilles pentalobées.....</i>	<i>103</i>
<i>Figure 30 : L'Erable Champêtre (Acer campestre L.) très commun en Europe, très connue par ces samares à un angle ouvert qui peut attendre 180°.....</i>	<i>104</i>
<i>Figure 31: Acer monspessulanum subsp cinerascence feuilles compactes de très petite taille avec un lobe centrale presque égale aux lobes latéraux.....</i>	<i>105</i>

*Figure 32: Acer monspessulanum subsp Ibericum (Récolte de l'Espagne en Mai 2011),
Feuille Trilobée d'une taille moyenne.....106*

*Figure 33 : L'Ecotype et l'espèce de référence Acer monspessulanum subsp
monspessulanum L. feuilles avec des lobes ovales et asymétriques107*

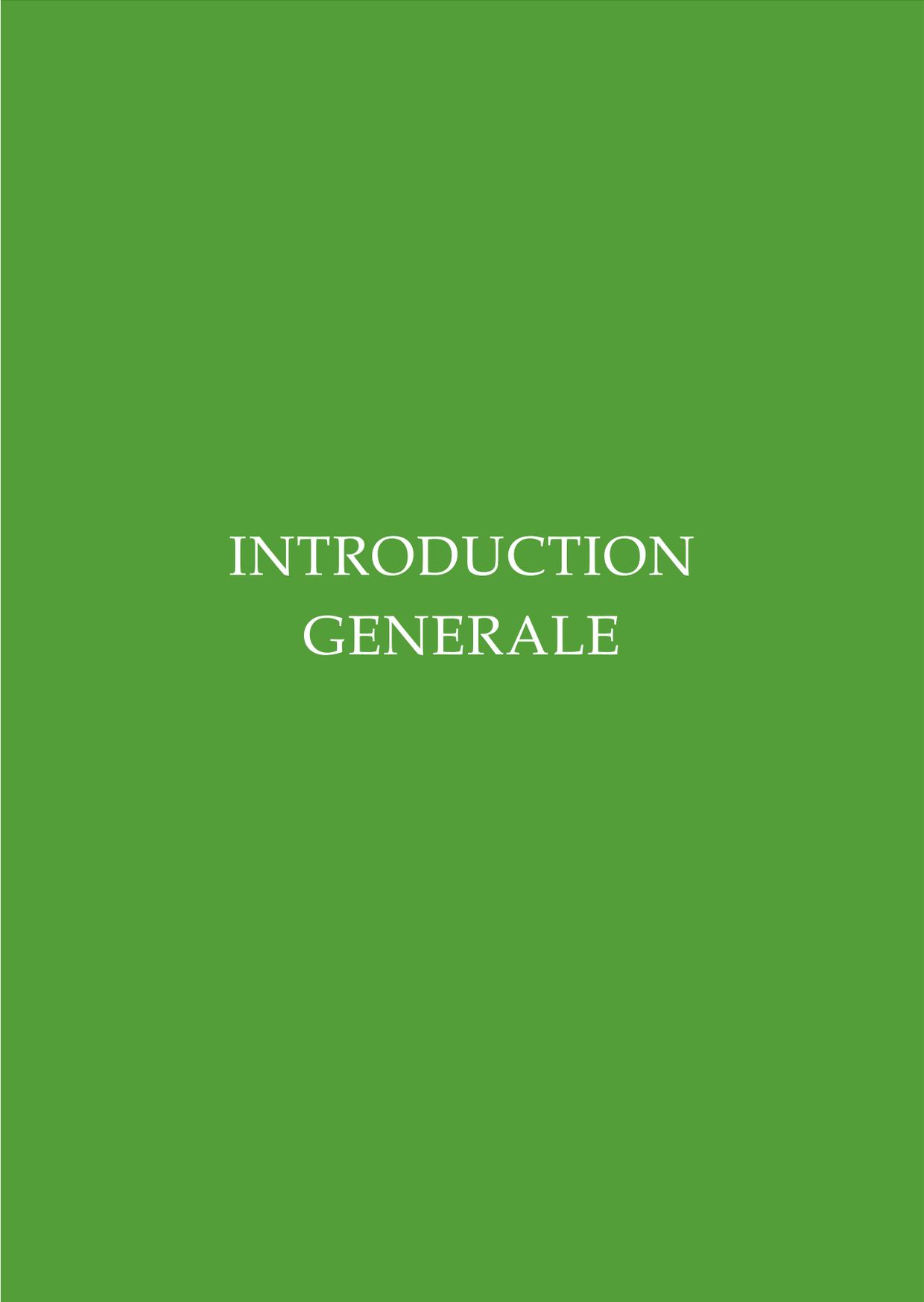
*Figure 34 : Acer opalus subsp hispanicum, Récolte daté de Juin 1928 a Jebel el Kalaa au
Maroc, pétiole est clairement épais, feuille hétérogènes et dentés108*

*Figure 35 : Polymorphisme des feuilles d'Erable de Montpellier (Acer monspessulanum L.)
récolté par l'auteur109*

*Figure 36 : L'Erable a feuilles d'obier (Acer opalus) Récolte de France, Région Gave d'Aspe
en Mai 1960.....110*

*Figure 37 : La sous-espèce d'Erable de Norvège Acer platanoides subsps turkistanicum,
collection datée a 1988, Herbar Universitaire de Moscow.....111*

Figure 38 : L'Erable de Norvège Acer platanoides L. collection datée a 1995.....112



INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En Afrique du Nord, les bouleversements écologiques induits par la déforestation et le surpâturage engendrent des dysfonctionnements graves, et les forêts en haute montagne sont particulièrement touchées (**QUEZEL et al. 1990**). Les communautés forestières menacées du bassin méditerranéen n'ont pas fait l'objet, à ce jour, d'une enquête à grande échelle, seuls quelques jalons ayant été posés dans cette direction (**Barbero et al. 1980**). Les peuplements forestiers peuvent être menacés à cause de : *i*) leurs exigences écologiques particulières, notamment la nature du substrat, qui en font des systèmes naturellement exigus ; *ii*) leur situation marginale sur le plan chorologique (limites d'aire, isolats), qui s'explique souvent par des compensations bioclimatiques (communautés abyssales) ou des raisons historiques (refuges pléistocènes), mais surtout *iii*) des impacts anthropozoogènes intenses et généralisés que subissent ces communautés à l'origine largement répandues (**Quézel & Santa 1963**).

Au sud de la Méditerranée, la plupart des forêts sont menacées, à des degrés divers. Au Maghreb (**Mhirit 1999**) de nombreuses essences forestières méditerranéennes se caractérisent par une instabilité génétique qui se traduit en général par des incertitudes taxonomiques difficiles à élucider. (**Neophytou et al. 2019**) Cette instabilité est aussi responsable des facilités souvent très grandes qu'offrent beaucoup d'espèces forestières méditerranéennes à l'hybridation ou à l'introgession en particulier au sein des genres *Acer*, *Quercus* et *Pinus* (**Barbero et al. 1992**)

Il n'existe à l'heure actuelle que de rares informations sur la variabilité génétique de ces essences en Algérie. Les connaissances relatives à cette variabilité font cruellement défaut (**Mediouni et al. 2021**). La connaissance de notre patrimoine végétal et l'identification des espèces et des écotypes d'un genre tel que l'*Acer* nécessite en premier lieu une prospection très fine des populations appartenant à ce genre, et une collaboration entre plusieurs institutions telles que l'Université, les Instituts de Recherche forestiers (INRF), le ministère de l'agriculture, les directions des forêts (DGF) et les directions des parcs nationaux (DPN).

Malgré le développement de la génétique, spécifiquement les marqueurs moléculaires, très peu d'études ont été faites sur les Erables Nord-Africains, notamment en Algérie, sachant que ce pays est considéré comme le représentant de la plus grande diversité

INTRODUCTION GENERALE

des Erables (*Aceraceae*) au Maghreb. A l'heure actuelle, il existe au moins 3 espèces d'érables endémiques en Algérie qui sont (*Acer monspessulanum*), (*Acer campestre*) et (*Acer opalus*) en plus d'un hybride (*Acer martinii*) (**Quézel & Santa 1963**), et trois espèces introduites comptant le Boxelder (*Acer negundo*) sous conditions contrôlées notamment dans les villes ou parcs à bois et deux espèces naturalisées avec peu d'informations sur leurs origines (*Acer platanoides*) et (*Acer pseudoplatanus*). Il faut signaler que les Erables en Algérie subissent trop de contraintes et risquent de disparaître dans quelques générations si l'état n'engage aucune intervention. Le même constat est fait pour d'autres espèces notamment le Sapin de Numidie (*Abies numidica*) et le Cedre d'Atlas (*Cedrus atlantica*) (**FAO 2018**). La situation de ces espèces mentionnées est très critique et due à plusieurs facteurs (la déforestation, les incendies, la pollution, le surpâturage et le changement climatique). L'extinction de ces espèces est très probable et peut causer des préjudices énormes à l'environnement provoqués par un déséquilibre écologique sévère dans plusieurs zones, surtout au niveau des réserves de biodiversité (Hotspots) identifiées par l'UNESCO (**Mediouni & Azira 1992**).

La présente contribution se propose d'étudier la variabilité phénotypique et génétique des populations géographiquement éloignées d'Erable de Montpellier *Acer monspessulanum* et d'Erable de Norvège *Acer platanoides*. L'étude a pour objectif la caractérisation des feuilles d'érable via des traits morphologiques et la détermination des caractères les plus discriminants, cette étude comprend ainsi une partie descriptive de l'espèce et des sites de prospections, complétée par une étude expérimentale afin d'évaluer et d'écrire la diversité de l'espèce, laquelle est indispensables à la mise en place de stratégies d'amélioration, de conservation et de gestion des ressources phytogénétiques.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1-INTRODUCTION

L'érable (*Acer* L.), référencé comme « Maple » en Anglais ou « Keikeb » en Arabe est un genre d'arbre vaste et diversifié comprenant plus de 150 espèces principalement monoïques, mais parfois dioïque avec des feuilles soit caduques ou persistantes (**Parsa 2014**), il fait partie de l'ordre des Sapindales et de la famille des acéracées (**Siahkolaee et al. 2017**). Les érables sont connus pour leur dominance sur les forêts des régions tempérées, en raison de leur résistance à la pollution et même aux conditions climatiques (**Amini et al. 2016**), notamment le froid, la sécheresse et l'altitude, ils ont été classés comme un élément versatile et très important pour la conservation de la biodiversité et même aussi pour le jardinage (**Guarino & Cipriani 2013**).

Les Erables peuvent atteindre jusqu'à 2m de croissance par un an (cas de sycomore) et jusqu'à 20 à 30m de hauteur, néanmoins ils peuvent s'adapter à plusieurs zones écologiques comme les vallées, les montagnes, les rives ainsi que les zones urbaines (**Rameau et al. 2008**).

L'érable fait partie du genre *Acer* qui signifie en latin pointu ou aigu et qui a notamment donné en français l'adjectif acéré, cette étymologie fait référence à la taille de son bois qui peut être réalisée en pointe (**Quévy 2016**).

2-CARACTERES BOTANIQUES :

Les érables varient beaucoup au niveau de leurs biotopes, feuilles, écorces, et même leurs comportements dans la nature, d'une autre part des études récentes révèlent l'importance des caractères morphologiques responsables de ces variations pour les identifier et résoudre les difficultés qui surviennent dans les identifications taxonomiques (**Bonin 1994**), par exemple le nombre de lobes latéraux et leurs formes dans les feuilles, la présence ou l'absence de dents marginales dans les lobes (Figure 1), les angles entre les deux samares. Ici on propose quelques caractéristiques en ce qui concerne les compartiments anatomiques des érables :

2.1-Feuilles :

Généralement, les feuilles chez les érables sont découpées en lobes profonds et disposées deux par deux le long des rameaux, on dit qu'elles sont palmatilobées (Farrar 1996). Les érables se distinguent par la disposition des feuilles opposées. Les feuilles de la plupart des espèces sont palmées et lobées, avec 3 à 9 (rarement 13)

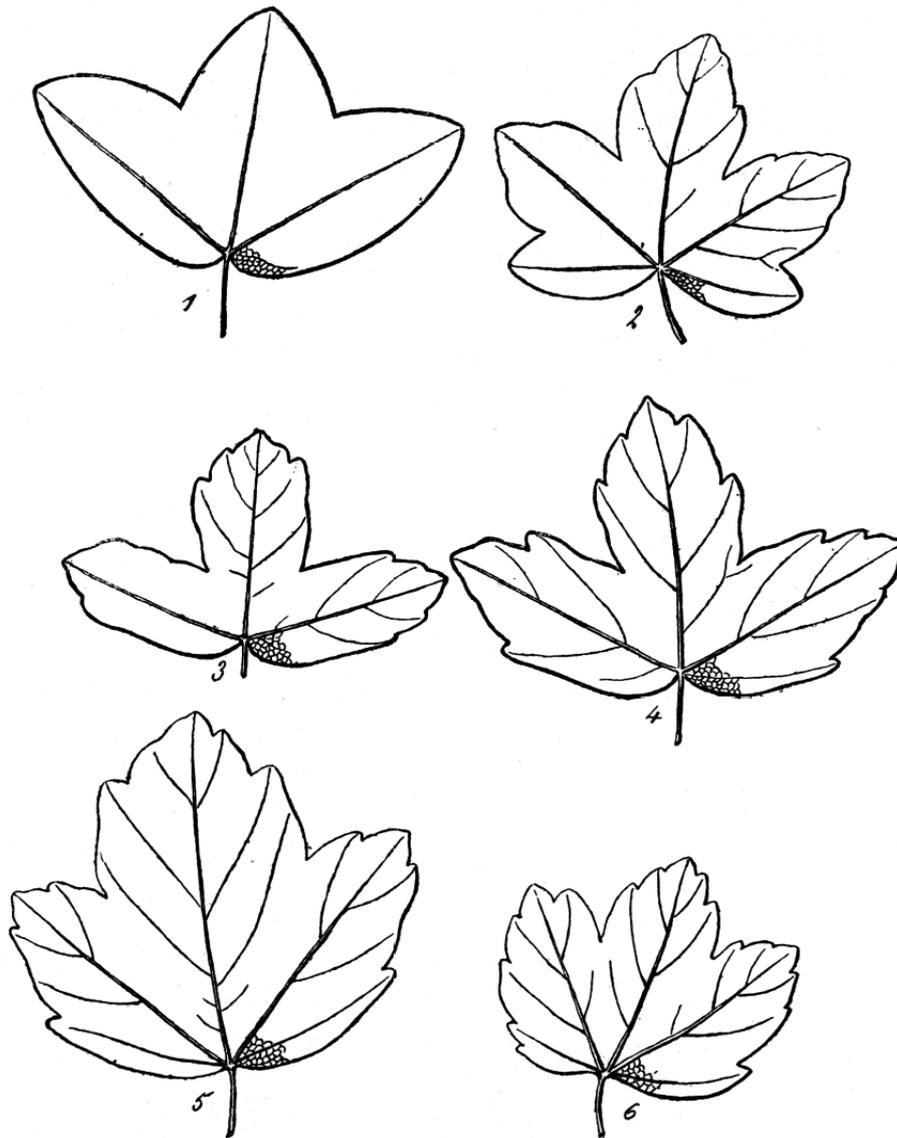


Figure 1 : Feuilles des 1 Erable de Montpllier, 2 Erable champetre, 3 et 4 Erable Martinii, 5 Erable Opalus, 6 Erable Obtusatum

veines menant chacune à un lobe, dont l'un est central ou apical. Un petit nombre d'espèces diffèrent par leurs feuilles composées palmées, composées pennées, veinées pennées ou non lobées. Plusieurs espèces, dont *Acer griseum* (érable à écorce de papier),

Acer mandshuricum (érable de Mandchourie), *Acer maximowiczianum* (érable Nikko) et *Acer triflorum* (érable à trois fleurs), ont des feuilles trifoliées (Zecchin et al. 2016). Une espèce, *Acer negundo* (boxelder ou érable du Manitoba), a des feuilles composées pennées qui peuvent être simplement trifoliées ou peuvent avoir cinq, sept ou rarement neuf folioles. Quelques-uns, comme *Acer laevigatum* (érable du Népal) et *Acer carpinifolium* (érable à charme), ont des feuilles simples à nervures pennées (Nix 2019).

2.2- Samares :

Les érables produisent des disamares (double samares) pourvues d'ailes (Fergus 2002), cette composition anatomique permet à ses compartiments de traverser des grandes distances à l'aide du vent (Ringius et al. 1997), ce qui caractérise d'une autre part le comportement invasif chez les érables, les disamares sont considérées comme un fruit sec de type akène (contenant une seule graine). Néanmoins, des études récentes révèlent que ces fruits ont la capacité de survivre même dans des conditions climatiques très difficiles et pour une durée de vie qui dépasse 3 ans, ce qui est avantageux pour la survie et la compétition de ces arbres autour des forêts tempérées (Hong & Ellis 1990).

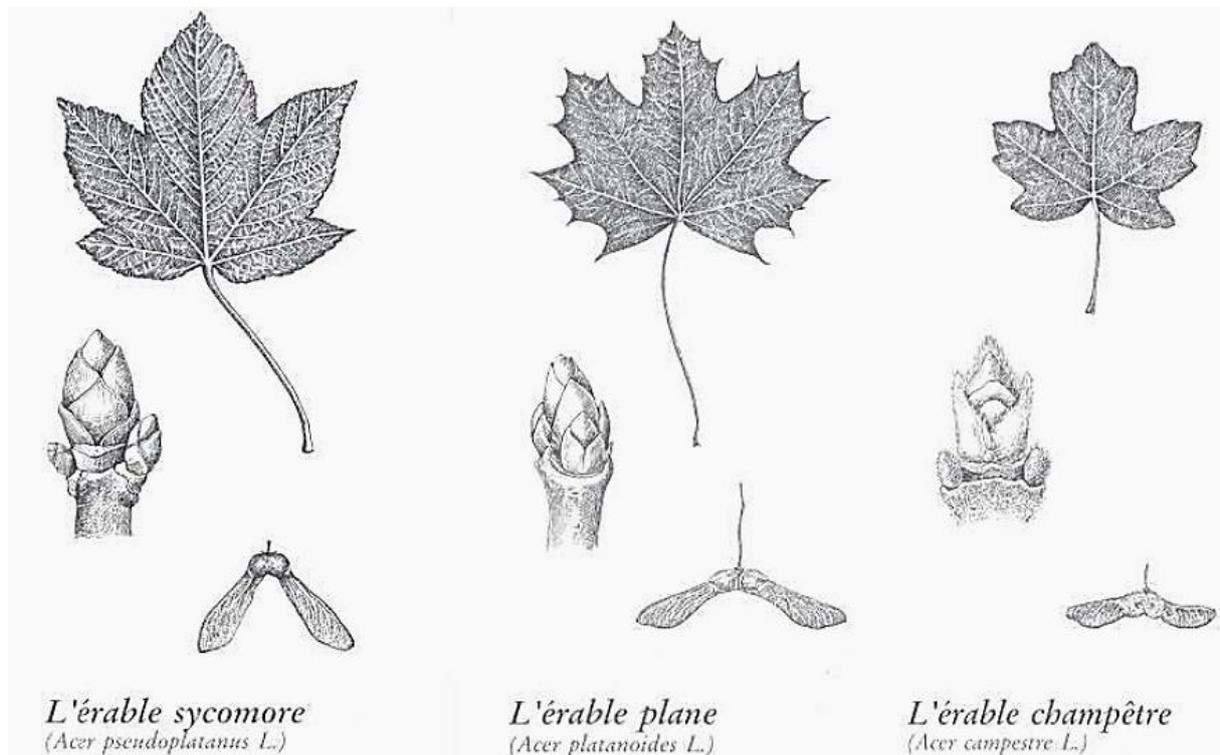


Figure 2: Les Angles entre les disamares chez quelques érables

Les angles entre les samares chez les érables diffèrent d'une espèce à une autre, et donc il faut toujours considérer ce caractère comme étant un trait discriminant pour la distinction entre les espèces lors du genre *Acer* L (**Kostic et al. 2017**).

2.3-Fleurs :

Les fleurs sont régulières, symétriques, en grappes ou panicules. Elles ont quatre ou cinq sépales, quatre ou cinq pétales d'environ 1 à 6 mm de long (inexistants chez certaines espèces) de quatre à dix étamines de 6 à 10 mm de long et deux pistils ou un pistil avec deux styles (**Gibbs & Chen 2009**) L'ovaire a deux carpelles soudés biovulés, qui permettent de distinguer aisément le sexe de l'arbre. L'érable fleurit généralement à la fin de l'hiver ou au début du printemps, juste après la feuillaison, mais quelquefois avant (**Urban-Mead 2015**).



Figure 3: Fleure d'Erable Rouge (*Acer rubrum*)

3-TAXONOMIE ET SYSTEMATIQUE :

La classification principale selon le système APGIII considère que l'érable appartient au genre des *Aceracea* avec *Dipteronia* et la famille des *sapindacea*. En effet, le genre *Acer* a subi plusieurs révisions notamment au cours du 20^{ème} siècle, (**Pax 1902; Pojarkova 1933; Fang 1966; Ogata 1967**). Cependant, notre compréhension du genre est basée

aujourd'hui en grande partie sur les travaux de (De Jong 2002) et (Li et al. 2019), qui ont divisé le genre en seize sections et dix-neuf séries.

Tableau 1: Classification des Erables selon le system APGIII

Règne :	<i>Plantae</i>
Sous-règne :	<i>Tracheobionta</i>
Division :	<i>Magnoliophyta</i>
Classe :	<i>Magnoliopsida</i>
Sous-classe :	<i>Rosidae</i>
Ordre :	<i>Sapindales</i>
Famille :	<i>Sapindaceae</i>
Genre :	<i>Acer</i>
Espèce :	<i>Monspessulanum</i>
Sous-Espèce :	<i>Monspessulanum</i>

4-CHARACTERISTIQUES DE QUELQUES ERABLES

Chez les érables le phénomène de la polyploïdisation naturelle est très répandu. Leur comportement sexuel reste très intéressant (Murray 1969), il existe des espèces dioïques, présentant des pieds mâles et femelles bien distincts, monoïques hermaphrodites, dont les organes mâles et femelles se trouvent dans le même arbre et dans la même fleur, et des espèces monoïques montrant des fleurs mâles et femelles dans un seul et même pied (Williams et al. 1990).

L'espèce la plus dominante en Afrique du Nord est l'érable de Montpellier *Acer monspessulanum* qui est phylogénétiquement proche d'*Acer hyrcanum* Fischer & Meyer (Grimm et al. 2007), une espèce répartie dans les Balkans et en Asie occidentale et d'*Acer opalus* réparti dans le sud de l'Europe et en Afrique du Nord. Les trois espèces

appartiennent à la section Acer et la séries Monspessulana ou parfois référé comme Monspessulanum (Li et al. 2006). La distribution des trois espèces se chevauchent et là où elles se rencontrent, elles peuvent s'hybrider (Barbero et al. 1992). Des hybridations sont signalées chez de nombreuses espèces d'Acer, donnant lieu à une polyploïdie chromosomique (Grimm 2003), par exemple le taxon hybride Acer x martinii est due a un croisement entre *Acer monspessulanum* et *Acer opalus* avec une distribution dans le sud de l'Europe (Magnin 1899). Une espèce végétativement similaire à ces trois espèces est *A. campestre*, bien qu'elle appartienne à la section Platanoidea, il a une forme et une taille de feuille similaire et une répartition qui se chevauche, mais diffère par la sève laiteuse et la direction horizontale des ailes de samare (Asadi et al. 2019).



Figure 4 : hybride *Acer x freemanii*

Acer monspessulanum peut être divisé en au moins six sous-espèces distribuées dans l'aire de répartition orientale (Khademi et al.2016) d'où la sous-espèce typique n'apparaît qu'en Europe. Les sous-espèces *cinarescens* et *ibericum* sont réparties en

Turquie (Cullen & Coode 1967) et les sous-espèces *turcomanicum*, *assyriacum* et *persicum* sont réparties en Iran. De plus, plusieurs sous-espèces ont été rejetées et considérées comme étant des variétés issues d'adaptations aux conditions environnementales (Amini et al.2016).

5-DISTRIBUTION DES ERABLES DANS LE MONDE :

En Amérique du Nord, 12 espèces indigènes d'Acer sont signalées dont 5 espèces sont couramment observées sur la majeure partie du territoire, *Acer rubrum* (érable rouge), *Acer saccharum* (érable à sucre) et *Acer Saccharinum* (érable argenté) (Jensen et al. 2002) ces espèces prennent de grandes parties du nord-est de la Nouvelle-Écosse à la Géorgie, tandis que l'*Acer negundo* (Boxelder) et l'*Acer macrophyllum* (Bigleaf) sont présents dans le centre-ouest de l'Amérique du Nord jusqu'à la côte pacifique (Nix 2019). Par ailleurs, l'Europe est également une région qui abrite près de 10 espèces d'érables indigènes et plusieurs taxons intraspécifiques. Jusqu'à présent, on ne sait pas combien de sous-espèces et de variétés du genre *Acer* peuvent être incluses dans ce groupe (Edgard 1991) car les limites sud-est avec l'Asie ne sont pas totalement définies. Cependant, certaines espèces sont très bien connues sur tout le continent en comptant *Acer Pseudoplatanus* (érable Sycamore), *Acer Platanoides* (érable de Norvège) et *Acer Campestre* (érable champêtre) (Wahlsteen 2020), d'autre part, le reste de la majorité des érables européens se trouvent dans la zone euro-méditerranéenne s'étendant vers le Moyen-Orient, cela comprend, *Acer monspessulanum* L (érable de Montpellier), *Acer hyrcanum* (érable des Balkans), *Acer Opalus* Mill ou l'érable italien (Guarino et al. 2008). Dans la partie la plus orientale du globe et exceptionnellement en Chine, 99 espèces ont été signalées dont 61 endémiques (Tingzhi et al. 2008). Ainsi, l'Asie de l'Est est simplement considérée sans aucun doute comme étant le centre de diversité du genre *Acer* (Li et al. 2006). Par ailleurs, les données bibliographiques concernant les érables d'Afrique du Nord restent remarquablement rares, mais néanmoins elles permettent

de les identifier de manière similaire aux espèces de la région de la Méditerranée orientale (**Mediouni & Azira 1992**).

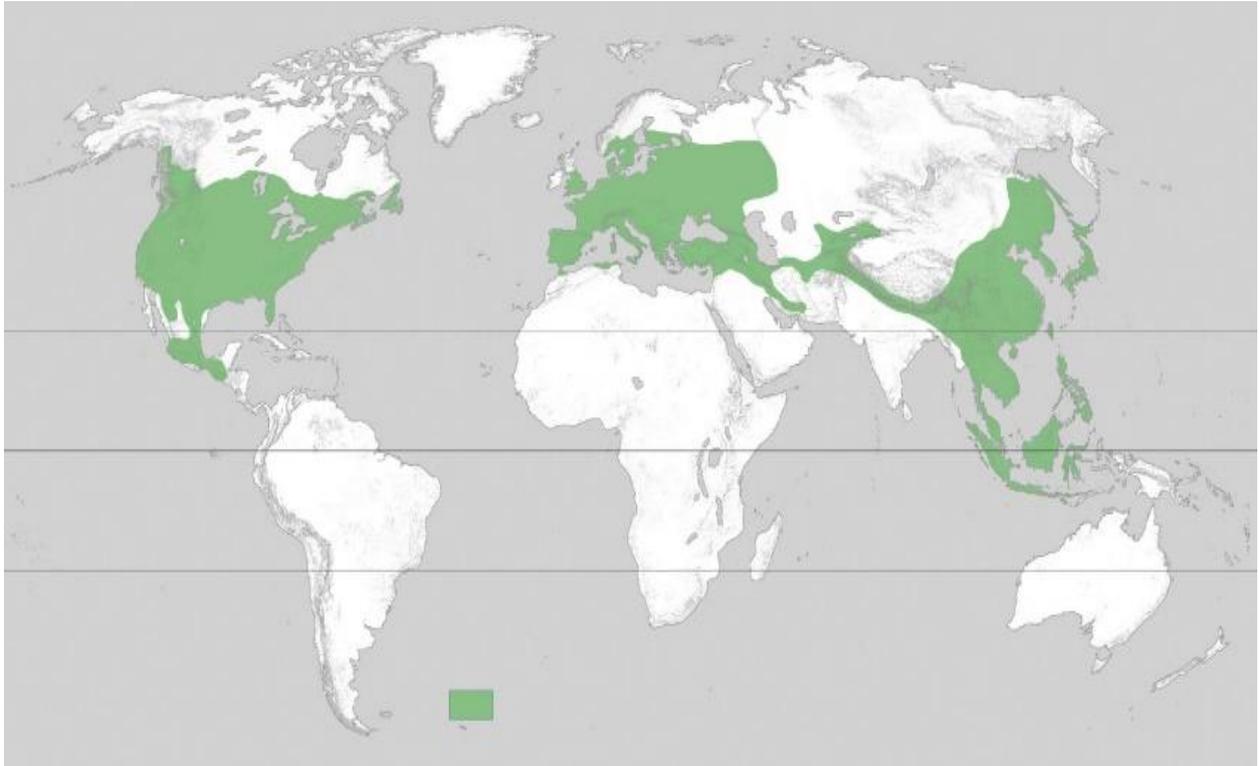


Figure 5 : Carte de Distribution des Erables dans le monde

6-DISTRIBUTION DES ERABLES EN ALGERIE :

Les érables sont signalés comme des espèces spontanées, avec une distribution géographique très hétérogène, créant une sorte de formations forestières mixtes avec chêne, sapin numide, if et cèdre de l'Atlas (**Trabut & Battandier 1890**), selon (**Quézel & Santa 1963**), 4 taxons d'érables sont présents principalement dans le nord de l'Algérie qui sont *Acer monspessulanum*, *Acer campestre*, *Acer opalus* et *Acer obtusatum* à l'addition d'érable de Norvège qui a été signalé par (**Mediouni et al. 2021**).

6-1-Erable champêtre (*Acer campestre*) :

La population d'Erable champêtre en Algérie est considérée comme l'unique en Afrique du Nord (**Atroune et al. 2019**), cette population est très importante pour ce qui est des ressources génétiques, néanmoins elle affronte de gros dangers et risque d'extinction dans le future vu les facteurs qui menacent la biodiversité en Algérie

notamment, la pollution, la déforestation, le surpâturage et les incendies, par conséquence, *Acer campestre* est listée comme une espèce protégée par l'UICN (Crowley & Rivers 2017).

L'Erable champêtre se trouve exclusivement dans les monts Babors (Est de l'Algérie) avec *Abies numidica*, *Cedrus atlantica* et *Taxus baccata* (Mhirit 1999).



Figure 6 : l'Erable champêtre (*Acer campestre*) région de Taza wilaya de Jijel – Algérie (Photo Originale Juin 2020)

6.2-Erable de Montpellier (*Acer monspessulanum*) :

Erable de Montpellier est souvent un petit arbre ou un grand arbuste, trouvé sur les sols calcaires du sud de l'Europe (Clarke & Jones 1978), de l'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et de certaines parties de l'Asie occidentale. C'est le plus répandu des érables algériens, (FAO 2018) apparaissant de Tlemcen à l'ouest (UNESCO 2016) à la Kabylie au centre de l'Algérie à Kenchela à l'est, associé principalement à *Quercus*, *Ulmus* et *Cedrus* (Meddour et al. 2010). L'espèce est également signalée au Maroc dans les montagnes de Tazerkount et en Tunisie dans la zone du parc national de Zaghouan et Jbel Serej (Aouinti et al. 2020). Est particulièrement répandu pourrait être qu'*Acer*

monspessulanum a des besoins très faibles par rapport à d'autres érables, de sorte qu'il devient une composante importante de nombreuses forêts partout dans les montagnes de l'Atlas maghrébin (Urban-Mead 2015).



Figure 7 : Erable de Montpellier (Foret de Tel-terni) à Tlemcen (Photo Originale Juin 2020)

6-3 Erable Feuille d'obier (*Acer opalus*) :

Acer opalus est un arbre à feuilles caduques de taille moyenne atteignant 20 mètres (66 pieds) de haut, avec un tronc jusqu'à 1 m de diamètre. Les feuilles sont vertes et brillantes, de 7 à 13 centimètres (2,8 à 5,1 pouces) de long et de 5 à 16 centimètres (2,0 à 6,3 pouces) de diamètre, à lobes palmés avec des dents émoussées. Elles jaunissent en automne (Guarino & Cipriani 2013).

L'écorce est grise et rosée. Il s'épluche dans des assiettes carrées. Il a de petites fleurs jaunes qui s'ouvrent avant l'apparition des feuilles. Le fruit est une paire de samares ailées, chaque graine mesurant jusqu'à 1 centimètre (0,39 po) de diamètre avec une aile de 1,5 à 2,5 centimètres (0,59 à 0,98 po) (Chikhaoui 2016).

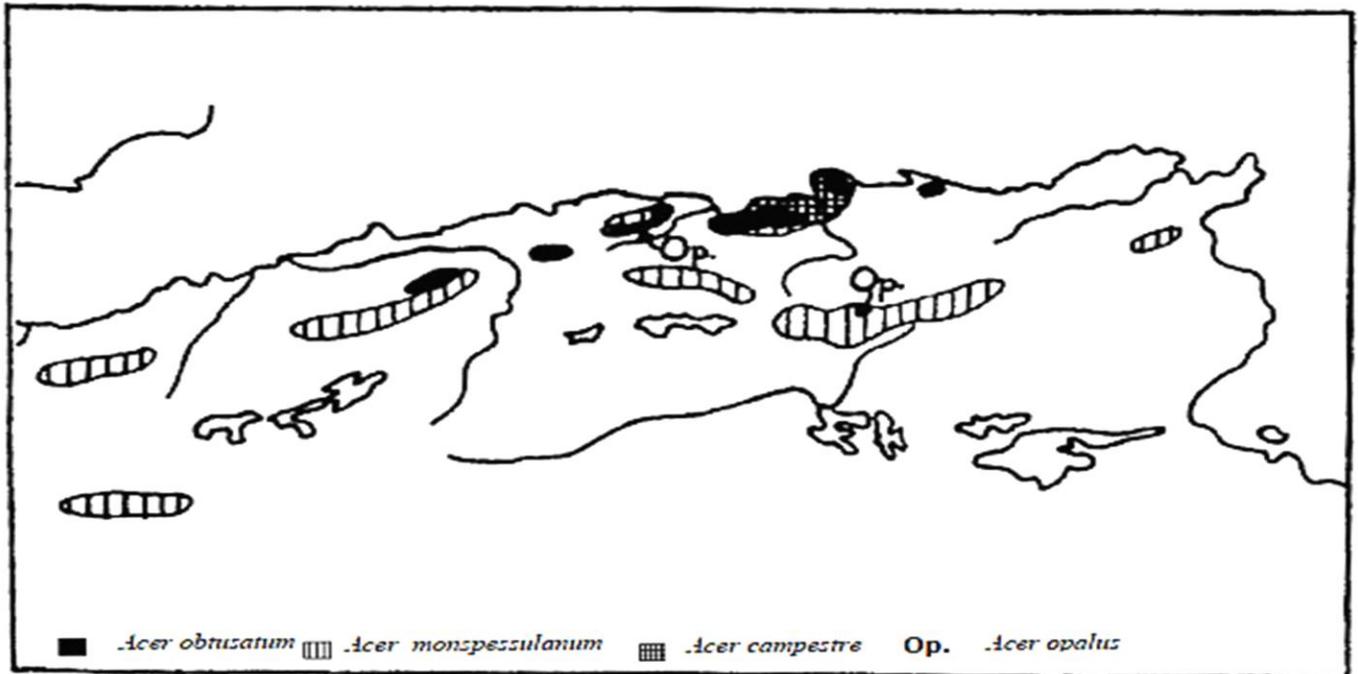


Figure 8 : Représentation des Erables en Algérie

6-4 La sous-espèce (*Acer obtusatum*) :

Très peu d'études ont mis en évidence cette espèce mais les informations principales ont été mentionnées par (Messaoudene et al. 2007) qu'*Acer obtusatum* est signalé dans les deux Djurdjura (centre de l'Algérie) et les monts Babors avec *Acer monspessulanum* et d'autres espèces accompagnatrices du genre *Quercus* et *Cedrus* (Addar 2016).

6.5-Erable de Norvège (*Acer platanoides*) :

Acer platanoides est un arbre à feuilles caduques, atteignant 20 à 30 m (65 à 100 pieds) de hauteur avec un tronc atteignant 1,5 m (5 pieds) de diamètre et une couronne large et arrondie (Rameau et al. 2008). L'écorce est gris-brun et légèrement cannelée. Contrairement à de nombreux autres érables, les arbres matures n'ont pas tendance à

développer une écorce hirsute. Les pousses sont d'abord vertes, devenant rapidement brun pâle. Les bourgeons d'hiver sont brun-rouge brillant (**De Jong 2002**).



Figure 9 : Erable de Norvège dans la forêt de Chréa (Photo Originale Juin 2020)

Dans des conditions idéales dans son aire de répartition d'origine, l'érable de Norvège peut vivre jusqu'à 250 ans (**Hong & Ellis 1990**), mais à souvent une espérance de vie beaucoup plus courte, 60 ans seulement en Amérique du Nord. Surtout lorsqu'il est

utilisé comme arbre d'alignement, il peut avoir un espace insuffisant pour son réseau racinaire et a tendance à ce que les racines s'enroulent autour d'elles-mêmes, ceinturant et tuant l'arbre (**Pandey 2005**). De plus, leurs racines ont tendance à être assez peu profondes et, par conséquent, elles surpassent facilement les plantes voisines pour l'absorption des nutriments. Les érables de Norvège causent souvent des dommages importants et des coûts de nettoyage pour les municipalités et les propriétaires lorsque les branches se cassent lors des tempêtes car ils n'ont pas de bois solide (**Straigyte & Baliuckas 2015**).

La présence de cette espèce en Algérie en forme naturelle a été signalée par (**Mediouni et al. 2021**) dans les monts de Chréa, et très peu d'informations sont présentes à l'heure actuelle en ce qui concerne sa présence et son comportement en Algérie.

7-IMPACT SOCIO-ECONOMIQUE ET BENEFICES DES ERABLES :

Les Erables plus gros font de beaux spécimens d'arbres dans les jardins. Les érables japonais sont des arbres plus compacts, souvent arbustifs, adaptés même aux plus petits jardins et à la culture en conteneurs (**Turok et al. 1996**).

L'érable est classé comme bois noble et très connue en industrie des armes principalement les fusils, l'industrie des instruments musicales et du Sirop (cas pour l'érable Américain) et les industries navales. En outre, l'espèce joue un rôle très important pour l'écologie forestière vu qu'elle est considérée comme espèces mellifère et en même temps possède des capacités énormes à l'adaptation (**Shouman et al. 2017**), par contre quelques érables ont été considérés comme espèces très invasives et compétitive en Amérique et en Estonie. C'est le cas d'*Acer pseudoplatanus*, qui possède des samares très toxiques qui tuent plus de 100 bétails par an dans les régions Alpines, cette cytotoxicité est considérée comme un moyen de défense contre les prédateurs naturels (**Bonciu et al. 2021**).

Parmi les désavantages des érables est leur inflammabilité, susceptible de provoquer des incendies importants. Nonobstant, elle a une capacité régénératrice très importante (**Aouinti et al. 2020**), Par ailleurs, l'espèce est utilisée comme arbre d'ornement, et a d'autres avantages, comme la production de bois noble, et du nectar

pour les insectes pollinisateurs. Le sirop d'érable est considéré comme une solution naturelle et sucrée, extraite à partir de la sève d'érable, l'extraction du sirop d'érable est une filière artisanale, connue sous le nom de l'acériculture, très importante pour l'économie canadienne, particulièrement dans la région du Québec (Wilsey & Miedtke 2013),



Figure 10 : Sirop d'Erable (Wilsey & Miedtke 2013)

La récolte du sirop d'érable est faite vers les débuts de printemps et le produit final nécessite quelques traitements, notamment une ébullition. Le sirop d'érable est récolté dans les forêts du nord-est de l'Amérique du Nord, particulièrement au Québec (trois quarts de la production mondiale et 95 % de la production canadienne). Il se vend aujourd'hui partout dans le monde, en particulier au Japon (Blackburn et al. 2017).

Parmi les nombreuses espèces productrices de sirop d'érables on a principalement trois qui sont l'érable noir (*Acer nigrum*) et l'érable à sucre (*Acer saccharum*) mais aussi l'érable rouge (*Acer rubrum*) (Perkins & van den Berg 2009).

Le sirop d'érable est très bénéfique pour la santé et considéré riche en polyphénols et en Acide ascorbique, le premier consommateur de ce genre de produits dans le monde et le Japon (Nimalaratne et al. 2020).

8-CONCEPTS MORPHOMETRIQUES POUR L'IDENTIFICATION DES ERABLES :

Des études récentes révèlent l'importance des caractères morphologiques pour identifier les espèces d'érable et résoudre les difficultés qui surviennent dans son identification taxonomique (**Zelditch et al. 2012**). Pour de nombreuses raisons, l'utilisation de la morphométrie classique et géométrique avec différents modèles statistiques est devenue un outil puissant pour illustrer les variations entre groupes de taxons (**Savriama 2018**). La mesure linéaire du temps semble plutôt traiter des traits quantitatifs, cette dernière reste très limitée dans les sujets, les expériences et les études qui visent à caractériser et à distinguer les taxons, une raison pourrait être que la forme complexe d'un organisme vivant ne peut être facilement résumé en utilisant uniquement des mesures linéaires (**Mechergui et al. 2016**) ; à l'inverse, la morphogéométrie permet de mieux explorer les déformations et d'afficher graphiquement les changements à travers les parties anatomiques des plantes, et cela pourrait être un avantage pour la classification et l'identification des espèces (**Liu et al. 2018**).

Au cours des dernières décennies, les méthodes morphométriques sont devenues un outil standard pour étudier la taxonomie des plantes et la variabilité des populations. Lorsque la morphométrie linéaire est basée sur des mesures de pièces anatomiques, la morphométrie géométrique vise à modéliser la forme des mêmes unités anatomiques et à calculer leurs différences à l'aide de coordonnées géométriques (**Gräf et al. 2022**). Cette dernière méthode est de plus en plus utilisée en botanique pour résoudre les problèmes taxonomiques et l'identification des espèces et de leurs hybrides. Les premières recherches sur le genre *Acer* ont été faites par (**Jensen et al. 2002**) comparant les deux érables américains *Acer rubrum* et *Acer saccharinum* et leur hybride (*A x freemanii*). Les données ont révélé que les hybrides étaient généralement intermédiaires entre les deux espèces. Les résultats ont fourni des preuves de la ségrégation génétique dans une accession hybride, et que plusieurs des arbres échantillonnés sont des hybrides naturels des deux espèces. Plus récent, (**Wahlsteen 2021**) a comparé deux populations d'*Acer campestre* indigènes et introduits à l'aide de la morphométrie géométrique des samares et des feuilles des fruits, montrant que les méthodes morphométriques géométriques pourraient fournir la possibilité de détecter

de petites différences entre les populations de la même espèce, même à niveaux élevés de forme et similitudes de forme. En Algérie, une étude similaire a été réalisée par **(Chikhaoui 2016)** où elle a appliqué à la fois la morphométrie linéaire et géométrique afin d'étudier deux espèces d'érable (*Acer monspessulanum* et *Acer obtusatum*), ses résultats ont montré une forte variabilité intra et inter-population en Kabylie dans les montagnes du Djurdjura.

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES

1- CAS D'ERABLE DE MONTPELLIER (*ACER MONSPESSULANUM*) :

Les échantillons des feuilles ont été prélevés des populations d'Erable de Montpellier (*Acer monspessulanum*) localisé dans le nord Algérien dans trois localités et dans chaque localité, trois sous-populations ont été échantillonnées. La localité la plus orientale (Khenchela) était représentée par 18 arbres et 168 feuilles, la population voisine (Batna) par 18 arbres et 174 feuilles et la population la plus occidentale (Tlemcen) par 14 arbres et 142 feuilles. Toutes les feuilles ont été numérisées sur leur forme fraîche à l'aide du scanner tout-en-un HP-PSC 1315 avec une résolution de 300 dpi (parfois nommée ppp).

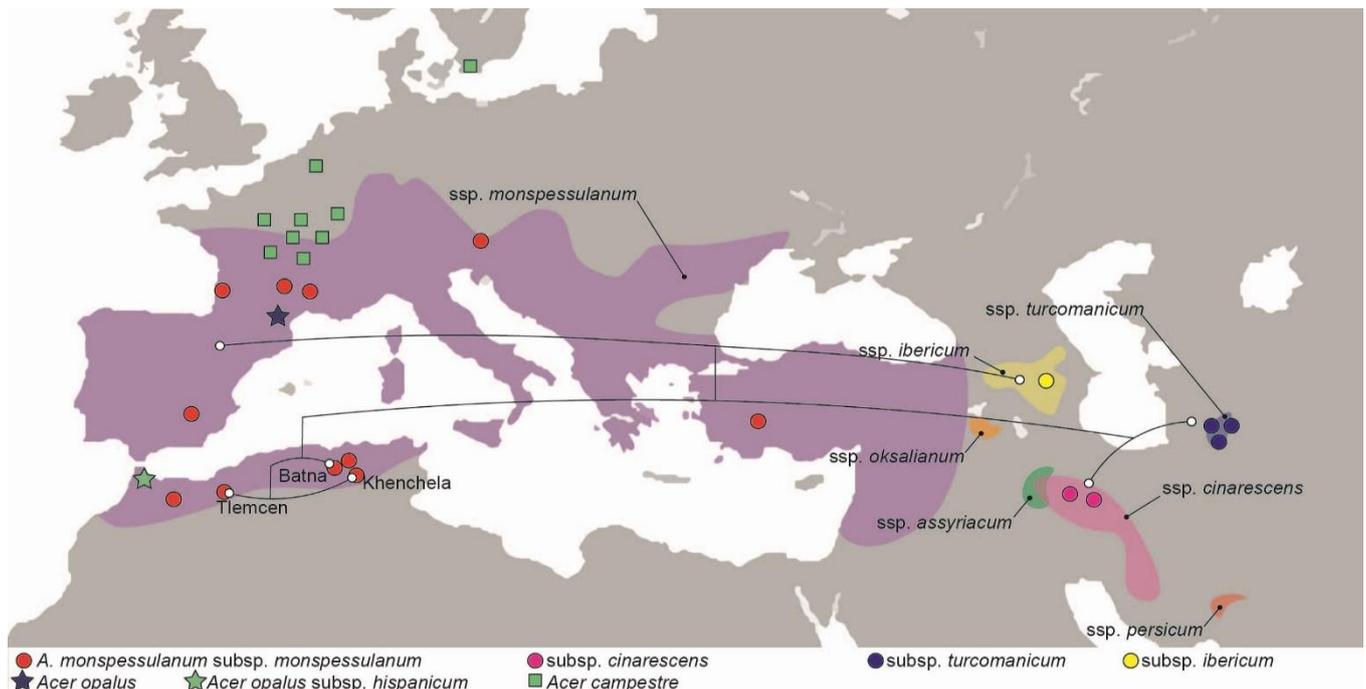


Figure 11 : Répartition générale des espèces liées à, ou étudiées dans cette étude (teintes colorées) et localités échantillonnées (cercles, carrés et étoiles).

Le matériel de comparaison par rapport aux échantillons d'algériens a été téléchargé sous forme d'images d'herbiers virtuels de (P, MA, NL, Bio-unipi, Cbn-alpin, Sivim, RNF, MPU, IBB, E, MW, BAK, VAL, SALA, B) indexé dans la base de données Global

Biodiversity Information Facility (GBIF 2021). Les spécimens ont été choisis en tenant compte des espèces d'*Acer* présentes dans la flore d'Algérie et des pays voisins, mais aussi des espèces morphologiquement similaires d'Europe continentale. Les espèces suivantes ont été choisies : *Acer campestre*, une espèce répandue avec une aire de répartition dans la plupart des régions d'Europe, d'Asie occidentale et d'Algérie (Nagy & Ducci 2004). La forme et la taille de sa feuille sont similaires à *Acer monspessulanum* à trois ou cinq lobes.

Acer monspessulanum subsp. *monspessulanum* est distribué dans les grandes parties de la région méditerranéenne, y compris l'Espagne, le Portugal, la Grèce, l'Italie, la Turquie, la France, le Maroc, l'Algérie mais aussi l'Iran, l'Allemagne et la Suisse. Seule la sous-espèce typique *monspessulanum* se trouve dans l'aire de répartition euro-méditerranéenne.



Figure 12 : population d'Erable de Montpellier dans la forêt de Tlemcen-Algerie (photo originale)

Acer monspessulanum var. *kahenae* un specimen extraîment rare. La sous-espèce *cinerascens* est répartie en Turquie, en Irak, au Liban et en Iran, (Motahari et al. 2021) la sous-espèce *ibericum* dans le Caucase, en Turquie et en Iran et la sous-espèce *turcomanicum* est répartie dans le Caucase (Gelderen Van et al. 1994).

Toutes ces sous-espèces partagent une forme de feuille similaire à trois lobes et une taille de feuille plutôt petite. *Acer opalus* est distribué dans le sud de l'Europe, de la Suisse à la France, l'Espagne et l'Italie, vers l'est jusqu'au Caucase et vers le sud jusqu'au Maroc et en Algérie. La feuille est plus grande que chez *Acer monspessulanum* et a cinq lobes peu profonds. Enfin, *Acer opalus* subsp. *hispanicum* est distribué en Espagne, dans le sud de la France et au Maroc et a une feuille disséquée plus profondément que la forme typique.

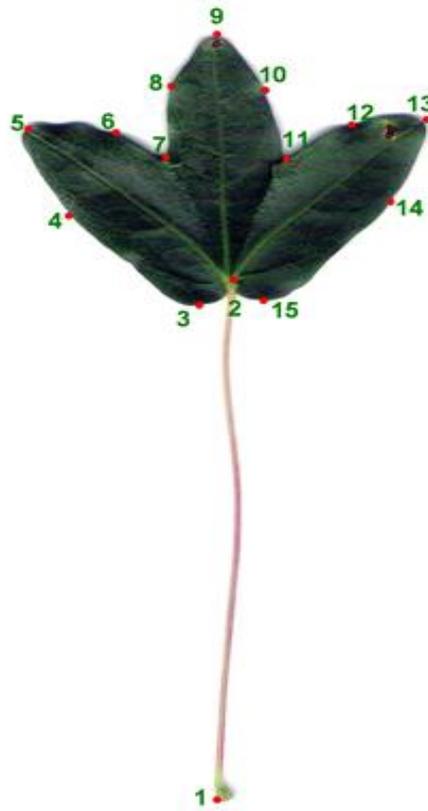


Figure 13 : La configuration de 15 points de repère appliqués sur une feuille numérisée d'*A. monspessulanum* algérien

Quinze repères ont été utilisés pour décrire la forme des feuilles. Landmark (LM) 1 représente la base du pétiole, 2 la base de la feuille, 3 et 15 les parties inférieures des lobes latéraux, 4 et 14 le point le plus large des lobes latéraux, 5 et 13 l'apex des lobes latéraux, 6 et 12 le point interne le plus large des lobes latéraux, 7 et 11 le sinus interne des lobes, 8 et 10 le point le plus large et/ou les dents du lobe médian et 9 le sommet du lobe médian. La configuration des points de repère est similaire à celle de

(Wahlsteen 2020). Les images des feuilles ont été numérisées dans tpsDig (Rohlf 2015) et le facteur d'échelle a été défini pour ajuster la taille des différentes images numérisées.

Tableau 2 : Coordonnées géographiques des régions enquêtées

Region	Massif Forestier	Station - Foret	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Tlemcen	Tel Terni	Tesser Mramet	34.777	-1.341	1315
Batna	Belezma	Oued el Ma	35.601	6.029	1235
Khenchla	Tamza	Ain Mimoun	35.201	6.543	1345

Dans le but de comparer les échantillons algériens aux taxons des régions voisines et d'Europe, les données ont été regroupées selon les taxons préliminairement identifiés d'*Acer campestre*, *Acer monspessulanum* subsp. *cinerascens*, *Acer monspessulanum* subsp. *ibericum*, *Acer monspessulanum* L, *Acer monspessulanum* v. *kahenae*, *Acer opalus*, *Acer opalus* subsp. *hispanicum* et *Acer monspessulanum* subsp. *turcomanicum*. Ces regroupements ont été soumis à une analyse discriminante (LDA) et à une analyse de variance multivariée (MANOVA). Cette dernière est une méthode d'analyse discriminante largement utilisée pour tester les différences entre plusieurs moyennes de groupe. Pour que ces tests soient pleinement valides, les échantillons doivent avoir une distribution normale multivariée proche et les groupes doivent avoir des matrices de covariance homogènes. Dans la plupart des matrices de données de cette étude, ces hypothèses sont violées, et donc NP-MANOVA (analyse multivariée non paramétrique de la variance) a été menée pour étudier les différences entre les moyennes de groupe sur la base d'une mesure de distance et de la permutation de l'appartenance au groupe (St»hle & Wold 1990)

Tableau 3 : Taxons, abréviation, pays d'origine et nombre de feuilles inclus dans l'étude.

Taxon	Abbréviation	Pays	Nombre
<i>Acer campestre</i> L.	Camp	BE, FR, SE,	12
<i>Acer monspessulanum</i> subsp. <i>cinerascens</i> (Boiss.) Yaltirik	Cin	IR, SP	14
<i>Acer monspessulanum</i> subsp. <i>ibericum</i> (M. Bieb.) Yaltirik	Iber	AM, GG	125
<i>Acer monspessulanum</i> subsp. <i>monspessulanum</i> L.	Monsp*	AG, FR, AU, BE, MO, SP, TU	14
<i>Acer monspessulanum</i> v. <i>kahenae</i> Maire	Kahen	AG,	56
<i>Acer monspessulanum</i> subsp. <i>turcomanicum</i> (Pojark.) Murray	Turco	IR	89
<i>Acer opalus</i> Mill.	Opa	FR	10
<i>Acer opalus</i> subsp. <i>hispanicum</i> (Pourr.) A.E. Murray	Hisp	MO	11
8 taxons		10 pays	

AG: Algérie, FR: France, IR: Iran, BE: Belgique, SP: Espagne, MO: Maroc, TU: Turquie, AM: Arménie, GG: Géorgie, AU: Autriche, SE: Suisse

*Algerian *Acer monspessulanum* populations are abbreviated as: "Algerian monsp", including, Tlemcen "Tlm", Batna "Batn" and Khenchela "Khen".

Dans l'étape suivante, les groupes centraux d'*Acer monspessulanum* avec toutes les sous-populations, *Acer monspessulanum* subsp. *cinerascens*, *Acer monspessulanum* subsp. *ibericum*, *Acer opalus* subsp. *hispanicum* et *Acer monspessulanum* subsp. *turcomanicum* ont été soumis à une analyse discriminante séparée, un dendrogramme PERMANOVA et UPGMA basé sur les distances euclidiennes.

Les données morphométriques ont également été explorées par la méthode des K-means en utilisant le package factoextra R (Kassambara & Mundt 2020 ; R Core Team 2020). Cette méthode repose sur une hypothèse de nombres de groupes (K), dans ce cas des populations ou en appliquant un modèle de regroupement optimal à l'exploration impartiale des données. Le nombre optimal de clusters a été déterminé par la méthode statistique Gap (Tibshirani et al. 2001) Les tendances générales de la

forme ont été explorées par une analyse en composantes principales (ACP) tracée en deux dimensions (PC1 et PC2) et sous forme de boîtes à moustaches en une dimension (PC1). L'ACP est un outil précieux pour réduire de grands ensembles de données en quelques dimensions et s'il y a suffisamment de corrélation entre les variables, la plupart des variations dans l'ensemble de données seront exprimées par les trois ou quatre premières composantes principales.

L'analyse en composantes principales (ACP), la régression linéaire, l'analyse discriminante (CVA, DA, MANOVA, PERMANOVA) et l'analyse par grappes ont été menées dans MorphoJ 1.06d (Klingenberg 2011), PAST 4.02 (Hammer et al. 2001) et le package R factoextra .

2- CAS D'ERABLE DE NORVEGE (*ACER PLATANOIDES*) :

Acer platanoides est un érable à feuilles caduques intolérant à l'ombre qui pourrait atteindre 10 mètres de haut, il est originaire d'Europe mais a également une grande distribution et se trouve dans de nombreuses régions du monde (Gelderen Van et al.1994) il appartient à la section platanoides avec *Acer campestre* une espèce bien connue autour du pourtour méditerranéen (Nagy & Ducci 2004), *Acer platanoides* est reconnu avec deux taxons, *Acer platanoides ssp platanoides* et *Acer platanoides ssp turkestanicum* une sous-espèce avec des feuilles plus petites qui est originaire d'Asie occidentale, y compris l'Afghanistan, l'Iran et Turkestan (Murray 1969)

Cette étude a pris en considération trois populations d'érable de Norvège, la première population est représentée par l'*Acer platanoides* algérien, la deuxième population est représentée par l'*Acer platanoides* européen et enfin la troisième population correspond à l'*Acer platanoides* iranien ssp *turkestanicum*, 303 feuilles repères participe à l'analyse correspondant à 8 localités (Figure 11), dont l'Algérie, l'Allemagne, l'Angleterre, la Suisse, les Pays-Bas, la Suède, la Norvège et l'Iran, des échantillons de feuilles algériennes ont été prélevés dans la forêt de Chréa une zone du parc national dans le nord de l'Algérie à une altitude de 1250m à 1350m, 14 érables de Norvège matures et sains ont été sélectionnés, cultivés naturellement et dispersés le long de la forêt, principalement avec des espèces de *Cedrus*, *Juniperus* et

Quercus, les feuilles ont été numérisées sur leur forme fraîche à l'aide d'une imprimante combinée (HP all in un 123) à 300 DPI, des échantillons européens d'*Acer platanoides* et d'*Acer platanoides* ssp *turkestanicum* ont été téléchargés à partir d'herbiers virtuels enregistrés au Global Base de données Biodiversity Information Facility (GBIF 2021), des spécimens ont été choisis dans différents pays afin de couvrir une large zone géographique (tableau 1), les feuilles endommagées ont été initialement exclues de la numérisation, un facteur d'échelle a été ajusté afin de supprimer l'effet de à l'aide d'images de différentes résolutions.

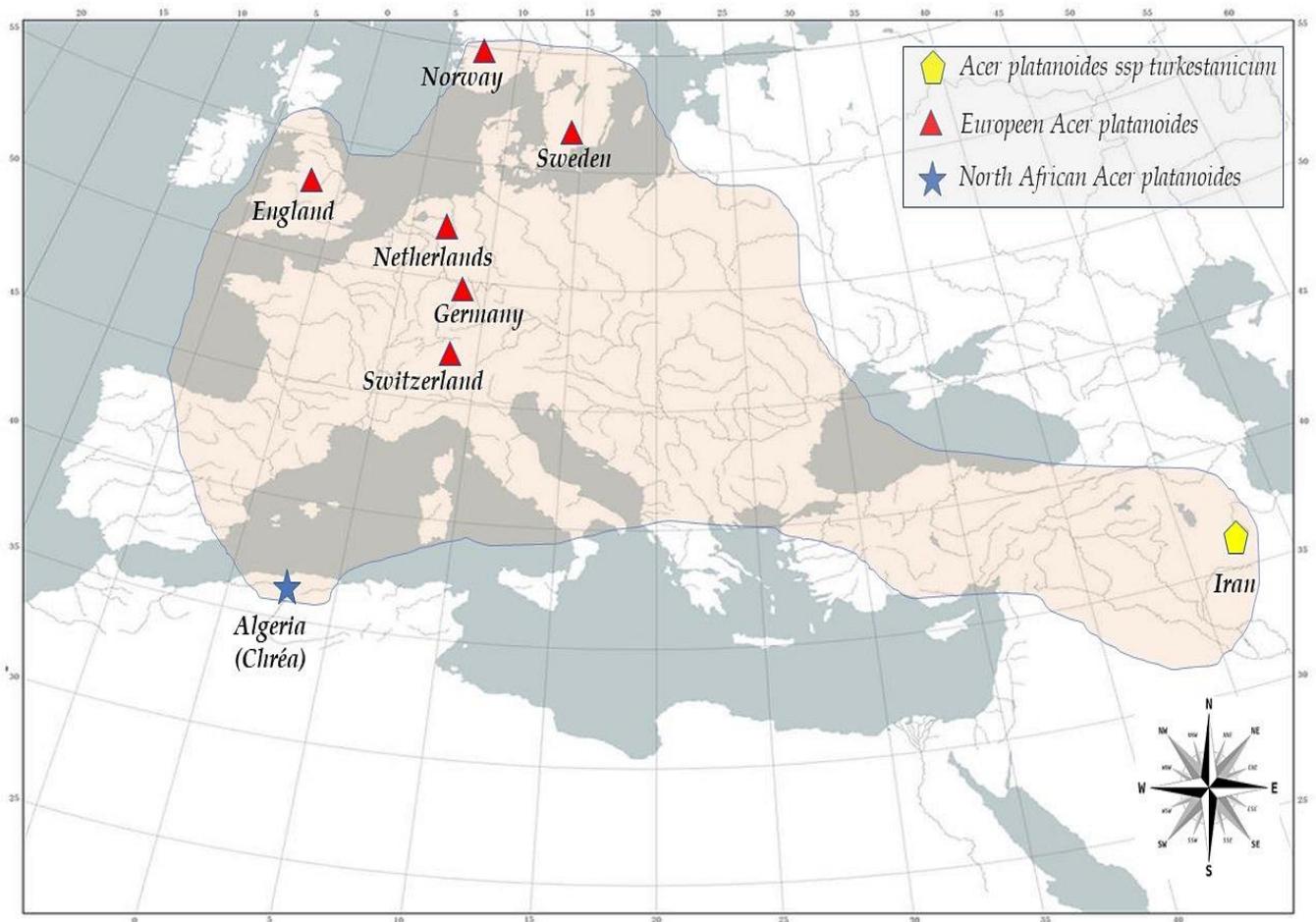


Figure 14 : Carte de répartition théorique des espèces d'*Acer platanoides* en Eurasie, l'*Acer platanoides* algérien est apparu en bleu, l'*Acer platanoides* européen est apparu en rouge tandis que l'*Acer platanoides* ssp *turkestanicum* est apparu en jaune.

Une configuration de 14 points de repère (LM) a été utilisée dans la numérisation des feuilles (Figure 12), cette procédure est effectuée via TPSdig32 ver2.31, un logiciel des packages de morphométrie géométrique de (Rohlf 2015), lors de l'analyse LM 1 représente la base de la feuille, 2 et 14 sont l'apex des dents inférieures, 3 et 13 sont le sinus interne entre les dents inférieures et les lobes latéraux inférieurs, 4 et 12 sont le sinus interne entre les dents inférieures et les lobes latéraux inférieurs, 5 et 11 sont le sinus interne entre les lobes latéraux supérieurs et les lobes latéraux inférieurs, 6 et 10 sont l'apex des lobes latéraux supérieurs, 7 et 9 sont le sinus interne entre les lobes latéraux supérieurs et le lobe central, 8 est l'apex du lobe central, cette configuration est très similaire à celle de (Wahlsteen 2021), les pétioles ont été exclus de l'analyse, en général, les pétioles sont très instables lors de la numérisation des feuilles et il est vraiment difficile d'estimer leur longueur correcte en raison de sa courbure et de son écart par rapport à une ligne droite, ce qui pourrait indiquer des erreurs lors de la numérisation.

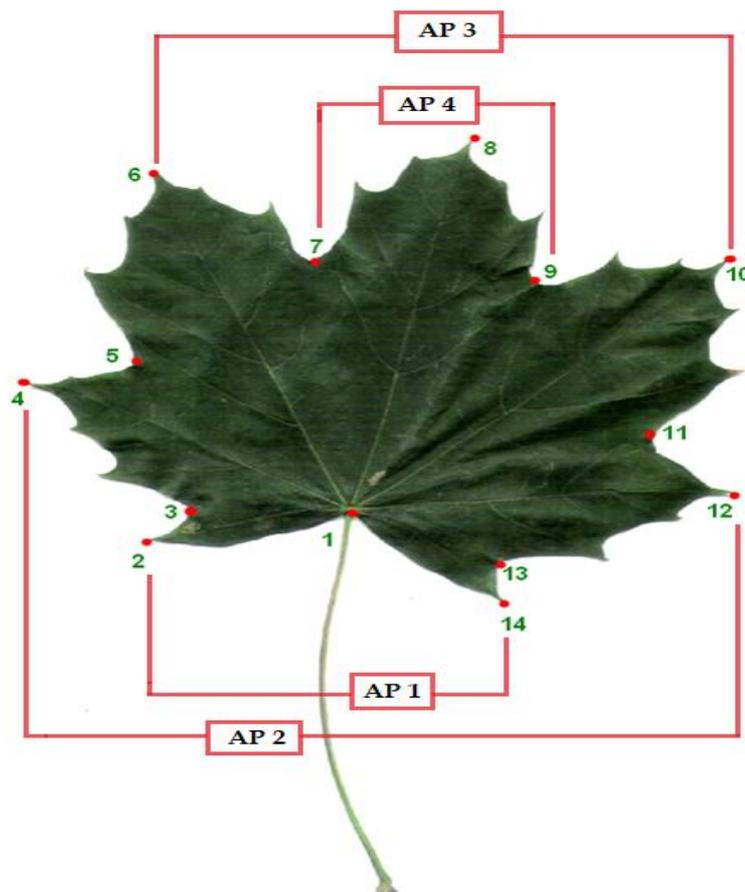


Figure 15 : La configuration des 14 points de repère (LM) appliquée sur la feuille d'*Acer platanoides* algérienne avec les parties anatomiques analysées (AP)

Remarque : AP1: montre les dents inférieures gauche et droite, AP2 montre les lobes latéraux inférieurs gauche et droit, AP3: montre les lobes latéraux supérieurs et enfin AP4 : révèle le lobe central.

Les méthodes statistiques utilisées variaient entre les statistiques multivariées, bivariées et univariées, y compris l'analyse en composantes principales (ACP), une méthode très courante en morphométrie géométrique utilisée pour explorer les tendances de forme et la variabilité entre les spécimens, la taille du centroïde des feuilles (CZ) a été calculée en fonction des distances de forme des procustes. , le facteur d'échelle joue un rôle important dans cette opération (**Hammer et al. 2001**), la taille a été testée à l'aide de statistiques descriptives et d'une analyse de variance à un facteur (ANOVA) en plus d'un test post-hoc supplémentaire utilisant des coefficients de Bonferroni pour identifier des groupes similaires, selon (**Ghasemi & Zahediasl 2012**) la normalité doit être ignorée en raison du grand nombre d'observations 303, la relation entre la forme et la taille a été testée à l'aide d'une régression linéaire, les données de forme étaient représentées par les scores de "PC1", le composant principal de la fonction PCA avec les plus fortes inerties et variations .

La discrimination entre les groupes de taxons a été faite à l'aide de l'analyse multivariée de la variance MANOVA, où les données Procrustes de chaque point de repère sont considérées comme une variable dépendante. Enfin, le regroupement a été effectué à l'aide de la méthode Kmeans, le nombre typique de clusters pour cette méthode a été estimé à l'aide des méthodes Silhouette et Elbow, les deux dépendant de la sélection visuelle (**Kodinariya & Makwana 2013**)

Tableau 4 : Nombre de feuilles d'*Acer platanoides* numérisées de chaque pays et continent selon leurs taxons, ici l'Algérie est représentée par 206 feuilles au total, l'*Acer platanoides* européen par 68 dont l'Angleterre, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Suède, la Norvège et la Suisse, enfin *Acer platanoides ssp turkestanicum* est représenté par 29 d'Iran.

Pays	N° de Feuilles	Continents	Taxons
Algerie	206	Nord Afriquain	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
England	11	Europe	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
Germany	11	Europe	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
Norway	30	Europe	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
Sweden	3	Europe	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
Switzerland	6	Europe	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
Netherlands	7	Europe	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>platanoides</i> L.
Iran	29	Asie	<i>Acer platanoides</i> subsp. <i>turkestanicum</i> (pax)
8 Pays	303 Feuilles	3 Continents	2 Taxons

L'analyse statistique a été purifiée de certaines valeurs aberrantes et réalisée à l'aide d'un ensemble de logiciels et de packages, les données de forme initiale ont été stockées dans des fichiers au format TPS créés par TPSutil ver1.78, le repérage des feuilles (numérisation) a été effectué à l'aide de TPSdig2 ver2.31 (Rohlf 2015), avant d'exécuter l'analyse statistique, toutes les données de forme ont été transférées dans un ajustement procuste à deux dimensions par Past, la taille du centroïde a été calculée selon le même logiciel mentionné en dernier lieu, la taille du centroïde est la racine carrée de la somme de la distance au carré entre chaque point de repère et centroïde de la feuille



Figure 16 : Feuille algérienne d'*Acer pseudoplatanus* (à gauche) versus feuille algérienne d'*Acer platanoides* (à droite) récoltée dans la forêt de Chréa, photo originale de l'auteur
Mediouni Mohammed Rida

(R Core Team 2020) la version 3.6.3 a été utilisée pour calculer l'ANOVA, les statistiques descriptives et aussi pour estimer le nombre optimal de clusters, le package factoextra version 1.0.7 en R (Kassambara & Mundt 2020) était une extension R utilisée pour tracer la fonction Kmeans, l'ACP a été publiée à l'aide de la version 1.06d de MorphoJ (Klingenberg 2015), la version 4.03 du logiciel antérieur (Hammer et al. 2001) a été utilisée pour tester la régression linéaire, le MANOVA a été fixé à un seuil de 5% dans le but de tester la relation entre les groupes d'espèces.

3- PROPOSITION DU PROTOCOLE GEOMETRIQUE EXPERIMENTALE

A l'heure actuel il existe plusieurs stratégies pour déterminer les analyses de morphométrie géométriques, les plus courants sont l'analyse de Fourier Elliptique (EFD) en anglais « Elliptical Fourier Descriptors » et l'analyse par Points de Repérerais (LA) « Landmark Analysis »

L'EFD est une méthode mathématique basé sur la quantification des sommes d'ellipses et des contours pour la détection des silhouettes d'un objet. Cette technique d'une manière générale, est largement utilisée dans le domaine de l'appariement des motifs visuels. Elle est surtout avantageuse quand on travaille sur des objets qui extrêmement varient en formes

La deuxième est l'analyse par point de repères en anglais « Landmark analysis » dans ce travail nous allons découvrir un Protocole courant, fiable et très simple dans ce cadre d'analyses, nommée l'analyse géométrique par points de repères (Landmark)

Le protocole est déjà divisé sous cinq Etapes successives, dont chaque étape est considérée Primordiale ou indispensable pour la réalisation de ce travail (Figure X), il faut noter par le passage que n'importe quelle analyse géométrique nécessite des pré-requissions sous la forme d'une bonne compréhension a l'outil Biostatistique et Bioinformatique notamment le langage R, sinon l'utilisation des logiciels comme Spss, PAST, MorphoJ et la série des TPS

Ce protocole a été accompagné par deux exemples qui différents dans quelques aspects pour avoir le maximum d'idées sinon une vue très claire sur l'utilité et l'intérêt des méthodes statistiques application lors de l'analyse des données

Les espèces choisies sont connue par leur complexité géométrique et leur versatilité, le premier qui appliqué des analyses de ce genre sur les espèces d'Erable et Jensen pour faire la détection des hybrides, ce qui a été notre point de départ, en Algérie le premier qui a appliqué ce genre d'analyses sur les populations d'érable est **(Chikhaoui 2016)** qu'elle a fait l'objective de comparer quelque population d'*Acer monspessulanum* et *Acer obtusatum* dans la région de la petite Kabylie.

Ici on propose la List des logiciels requis pour la réalisation de ce travail :



TpsUtil version 1.78 : un logiciel très important pour la réalisation des analyses de morphométrie géométrique, il a la capacité de crée, modifier, merger les archives en format « TPS », ce format garde toutes les informations sur les spécimens analysé, donc le logiciel TpsUtil est considéré la clé pour l'initiation d'une analyse géométrique.



TpsDig2 version 2.3 : Le logiciel TpsDig2 participe à la lecture de l'archive TPS mais aussi intervient à la construction de profile géométrique des spécimens (configuration d'une série de Points de repères), il a aussi la capacité de modifier les performances des images comme la saturation des couleurs, l'éclairage et la netteté.



MorphoJ version 1.06d : un logiciel très robuste qui permet de décortiquer l'identifiant ou l'immatriculation de chaque spécimen, dessiner les déformations entre les compartiments anatomiques bien que supporter les résultats par des statistiques robustes, ce logiciel est absolument nécessaire surtout pour les débutants.



PAST version 4.03 : Permet de lancer des statistiques de différents types, le logiciel PAST est connu par ces représentations graphiques de bonne qualité ainsi qu'il offre plusieurs options ou choix facultatif, dans notre cas PAST intervient au calcul de la transformation et de l'alignement Procruste, calcul de taille des objets en basant sur l'unité de centroïde, et génère les formes théoriques des objets analysée en reliant les points de repère (Landmarks).



R version 3.6.3 : R est un langage de programmation proche à celui de Python, il nécessite un GUI pour affirmer les codes de scripte et exécuter les ordres, R a la capacité de faire les calculs nécessaire pour n'importe quel types d'analyses statistiques sans tenir en compte leur complexités même si la tache demande de ploter des graphes et des cartes géographiques néanmoins l'opération parfois nécessite énormément de Scripting et des connaissances sur la base de ce langage, R a aussi la capacités d'être hybridé par des collections de paquets, en anglais « Packages » les paquet ont principalement l'objective de soutenir les taches, améliorer l'aspect graphique et visuel, sinon prévenir des fonctions supplémentaire comme le filtre des données, l'enregistrement des résultats en format textuelle, télécharger des informations via des serveurs ou lire des fichiers en format exceptionnel comme l'Excel (.xls ou .xlsx).

Parmi les paquets qui intervient dans l'analyse géométrique en a :

“Factoextra” et “FactoMiner” : les deux interviennent à la réalisation des statistiques Uni ou multivariée sinon des analyses de partitionnement des données comme la Classification Ascendante hiérarchique (CAH)

“Ggplot2” : Intervient à l’amélioration de l’aspect visuel des représentations graphiques

*“Geomorph *” : Purement désigné pour la réalisation des analyses et des fonctions géométriques, vu leur complexité*

**(ce travail n’as pas pris en considération le paquet Geomorph)*



R Studio : un logiciel qui provoque un environnement très sophistiqué pour faciliter la pratique du langage R, l’interface R Studio est divisé en plusieurs fenêtres qui permet l’adaptation a plusieurs taches en même temp mais aussi offre une assistance pendant le Scripting par l’addition qu’il offre l’option de télécharger et metre a jours plusieurs librairies des paquets.

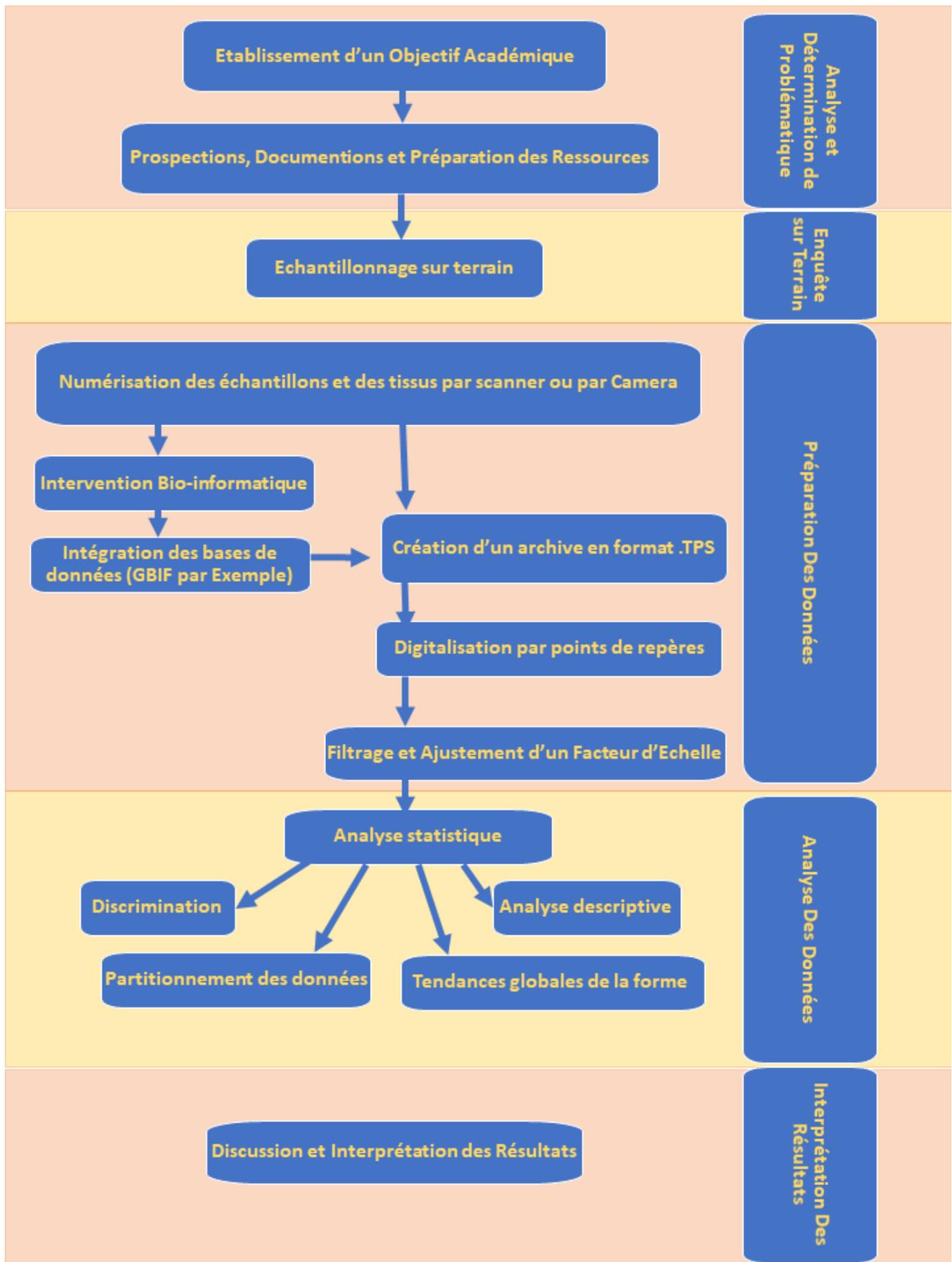


Figure 17 : Diagramme principale d'une analyse basé sur le protocole géométrique

3-1 PHASE (I) ANALYSE ET DETERMINATION DE PROBLEMATIQUE :

N'importe quelle étude scientifique nécessite d'abord une problématique à résoudre mais aussi des objectifs à atteindre, généralement on applique les méthodes géométriques pour évaluer les complexes taxonomiques, examiner des résultats en biologie de développement ou évolutif, l'identification des hybrides et les analyses de diversité phénotypique qui correspondent logiquement à une diversité génétique, par conséquent la quantité de résultats générés à partir de ce genre d'analyse indique/répond à un taux d'information très riche et très important sur plusieurs contextes, soit Géométrie, Biostatistique, Anatomique et parfois même Physiologique des spécimens analysés, et pour cette raison la compréhension des concepts de ces disciplines est très importante.

Il est toujours préférable de lancer les analyses géométriques avant de postuler à une contribution moléculaire. L'avantage est le pouvoir de relier les deux types d'analyses sur le même profil de recherche vu qu'ils sont complémentaires et adaptatifs.

Donc l'objectif de chaque analyse doit répondre à une problématique définie déjà par les domaines de diversité phénotypique ou taxonomique mais aussi comprendre d'autres notions soit Géométriques ou Biostatistiques.

3-2 PHASE (II) ECHANTILLONNAGE SUR TERRAIN :

Généralement c'est l'étape primordiale pour n'importe quel type d'études, cette phase permet au scientifique de localiser et d'enquêter l'habitat, la géographie et l'écologie ce qui permet d'établir un contact direct avec l'environnement et permet autrefois de comprendre les facteurs interagissant sur la succession ou l'adaptation de l'espèce ciblée dans un écosystème déterminé.

Pour le protocole géométrique cette phase est encore plus importante et plus complexe car la récolte des échantillons parfois est limitée par une durée très courte de temps avant que les tissus ne commencent à se décomposer et pour cette raison on considère parmi les limitations de cette technique de Morphométrie Géométrique par points de repères « MGPP », donc le chercheur doit réagir très rapidement après une phase d'échantillonnage pour éviter les dommages et les contaminations, cette

réaction requis une opération aussi importante nommé la numérisation, elle est bien expliquer en Phase (3)

3-3 PHASE (III) : PREPARATION DES DONNEES

Le pouvoir de la technologie augmente l'efficacité et en même temp réduit trop de complications mais par contre l'Access a la technologie nécessite parfois un matériel couteux ou des compétences et des connaissances plus ou moins importante, après n'importe quel échantillonnage sur terrain le chercheur confronté une réalité que le matériel récolté doit être convertie en format numérique et stocker quelque part dans un laptop ou un téléphone, mais le processus n'est pas aussi simple vu que le nombre élevées des échantillons soit Feuille,

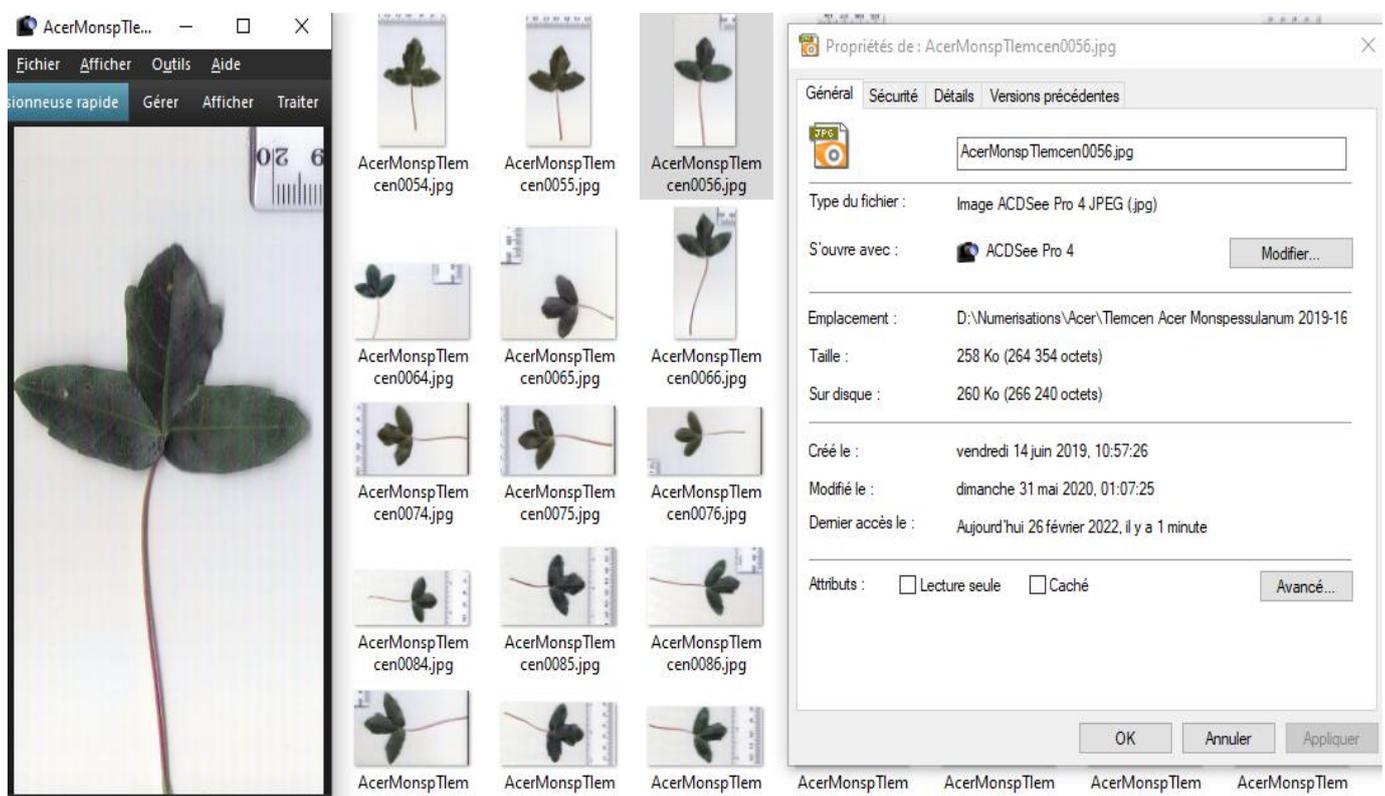


Figure 18 : Numérisation d'une série de feuilles d'Erable par une imprimante combinée

HP1513 en format JPEG

Organe, Fruit ou Fleure parfois dépasse mille (1000) échantillons et tenant en compte que chaque échantillon est numérisé en format de haut résolution TIFF ou PNG par exemple donc le contenu finale logiquement va dépasser 5 à 7 Go de stockage et ce

qui impact négativement les performances des machines et des logiciels de traitement des données au plus tard, pour cette raison et bien que pour d'autre il est toujours préférable de garder un format très courant mais aussi conservatrice tell que le JPEG ou JPG pour les Cameras et le type a 300ppp ou 600ppp (dpi) en Anglais pour les Imprimantes combiné et les scanners. Cette étape est nommée la Numérisation.

Remarque : en ce qui concerne notre cas, la numérisation est faite par une imprimante combinée HP1315.

L'autre condition est de déposer une règle en millimètre ou en centimètre pour des raisons qui vont être bien expliquer plus tard mais l'important que l'objet ne doit pas être en contact directe avec le tissu analysé (Feuille dans notre cas).

Il est presque impossible d'analyser les échantillons en format numérique brute (JPEG ou JPG) comme déjà mentionné mais il faut d'abord une intervention de quelques logiciels de traitement d'images afin de construire une archive finale en format. TPS, l'archive TPS est capable d'être opérationnel par les logiciels de traitement des données mais aussi contenant presque toute l'information nécessaire sur le sujet numérisé, comme, la taille, les coordonnées de chaque point de repères dans un plan 2D ou 3D si nécessaire, la source, l'endroit et d'autre informations, cette étape est nommée l'immatriculation.

Remarque : la création d'un fichier. TPS est faite par TPSutil32

L'immatriculation :

Elle fait partie de la numérisation, c'est un processus assez simple mais assez important vus qu'il garde les informations nécessaires sur chaque spécimen, en revanche parfois est insuffisante pour résumer les performance déjà mentionnée tell que la source le code la région le type d'espèce, pour cette raison nous nous proposons de reformuler les noms des images d'une façon très simples mais très efficaces en termes d'immatriculation de chaque spécimen ou échantillon, dans ce travail nous allons décrire trois exemples, Basique, Intermédiaire et Avancées.

Basique (Simple) : « AcerCampestre124Tlemcen » ou « AcerCampestreDZA007 » dont quatre indicateurs contribuent à la construction de cette immatriculation qui

comprend une notion Genre-Espèce-Identifiant de spécimens puis Région sinon la deuxième indique Genre-Espèce-Pays et Identifiant de spécimens, ces deux propositions sont très compréhensives pour les analyses qui correspondent aux plantes et aux animaux sauvages par Exemple.

Intermédiaire : « *AcerMonspessulanumDZA0174Tlemcen* » cette combinaison relie le Genre-Espèce, le Pays et la Région qui correspond à un Pays avec un Identifiant pour chaque spécimen, (il est presque impossible d'éliminer l'Identifiant et le taxon des spécimens dans ce genre d'analyses), cette proposition est mieux adaptée pour les analyses qui ciblent des espèces domestiquées sinon appartient au domaine agronomique comme l'agroforesterie.

Avancé (Complexe): « *AcerPlatanoidesDZA0006Population01Section01Blida* » cette proposition peut être aussi plus complexe mais l'important qu'elle garde toujours une grande quantité d'information sur chaque spécimen analysé, la nouveauté pour cette proposition par rapport aux autres qu'elle regroupe une « *Population* » et une « *Section* » dont le premier terme indique plusieurs échantillons d'un seul Site ou d'une seule Région alors que le deuxième terme indique soit des sections géographiques et écologiques différentes (Forêt-Rivière-Montagne) pour une plante sinon des milieux de conservation pour un objet microscopique (Spore-Nématode) par Exemple.

Remarques : *Il est très important que le nombre de lettres et de chiffres doit être fixe pour tous les échantillons, il est obligatoire de respecter l'orthographe notamment les majuscules, les minuscules, les termes « Tlemcen » et « TLEMCEN » sont complètement différents pour les logiciels de traitement et d'analyse des données, les caractères décimaux et les chiffres doivent être aussi respectés, soit binaires 01 tertiaires 001 ou quaternaires 0001 surtout lors du codage des grands échantillons.*

Il faut noter que la complexité d'immatriculation joue un rôle important dans la richesse des analyses géométriques mais elle est toujours optionnelle sauf si nécessaire pour clarifier l'échantillonnage, donc ce n'est pas obligatoire de mettre cinq ou six composants pour une analyse qui nécessite uniquement trois.

Une autre remarque est que les exemples mentionnés pour chaque type d'immatriculation ne sont pas stricts mais uniquement pour bien expliquer les différences, sinon le chercheur est libre de choisir n'importe quelle immatriculation selon la nature et la nécessité de l'analyse.

3-3-1 INTEGRATION DES BASES DE DONNEES :

L'avantage est toujours d'Integrer nos connaissances et nos compétences en exploration, néanmoins bénéficier des bases de données qui stockent presque un nombre illimités d'informations via leurs serveurs, ses informations sont souvent des textes, chiffres, coordonnées géographiques mais le plus important c'est l'outil media notamment les images et c'est ce qui nous concerne dans cette session, il existe a l'heure actuel plusieurs de bases de données mais d'après ma petite expériences dans le domaine de morphométrie et d'exploration, mais les plus adapter à ce genre d'analyse sont la (GBIF) qui réfère en anglais « Global Biodiversity Information Facility » et la (JSTOR) qui réfère en anglais « Journal Storage », Ce protocole couvre

SEARCH OCCURRENCES 34,901 RESULTS						
TABLE	GALLERY	MAP	TAXONOMY	METRICS	DOWNLOAD	
Scientific name	Country or area	Coordinates	Month & year	Basis of record	Data source	
Acer monspessulanum L.	Spain	41.7N, 1.7E	2022 January	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	Spain	41.9N, 1.9E	2022 January	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	France	45.1N, 5.7E	2022 January	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	Slovenia	45.7N, 14.0E	2022 February	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	Spain	41.7N, 1.9E	2022 February	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	Spain	40.9N, 3.6W	2021 January	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	France	42.5N, 2.7E	2021 January	Human observation	Ca...	
Acer monspessulanum L.	France	42.5N, 2.7E	2021 January	Human observation	Ca...	
Acer monspessulanum L.	France	42.5N, 2.7E	2021 January	Human observation	Ca...	
Acer monspessulanum L.	Spain	40.7N, 3.7W	2021 February	Human observation	IN...	
Acer monspessulanum L.	France	43.8N, 3.8E	2021 February	Human observation	IN...	

Figure 19 : Visualisation de la base de données GBIF

des travaux par la GBIF, l’avantage de cette dernière qu’elle est gratuite mais aussi elle offre un matricule le DOI qui permet aux utilisateurs de rendre les informations d’intégrés plus accessible en même temps apte pour être cité

Exemple : ce DOI : « <https://doi.org/10.15468/dl.r73fjc> » code pour nos feuilles acquissent via la GBIF

3-3-1 INITIALISATION D’UN TPS

Les données sous immatriculation soit numérisé ou élaboré via une base de données vont être résumé et intégré par une information selon le format TPS, l’obtention de ce fichier et faite par le logiciel TPSutil l’un de la série des logiciels de Rholf, le TPS est une format textuelle qui permet au logiciels de traitement d’image par exemple (PAST ou MorphoJ) de lire les informations structurales de chaque photo notamment l’identifiant de l’image sous immatriculation, le facteur d’échelle et les coordonnées cartésiennes X et Y de chaque point de repère.

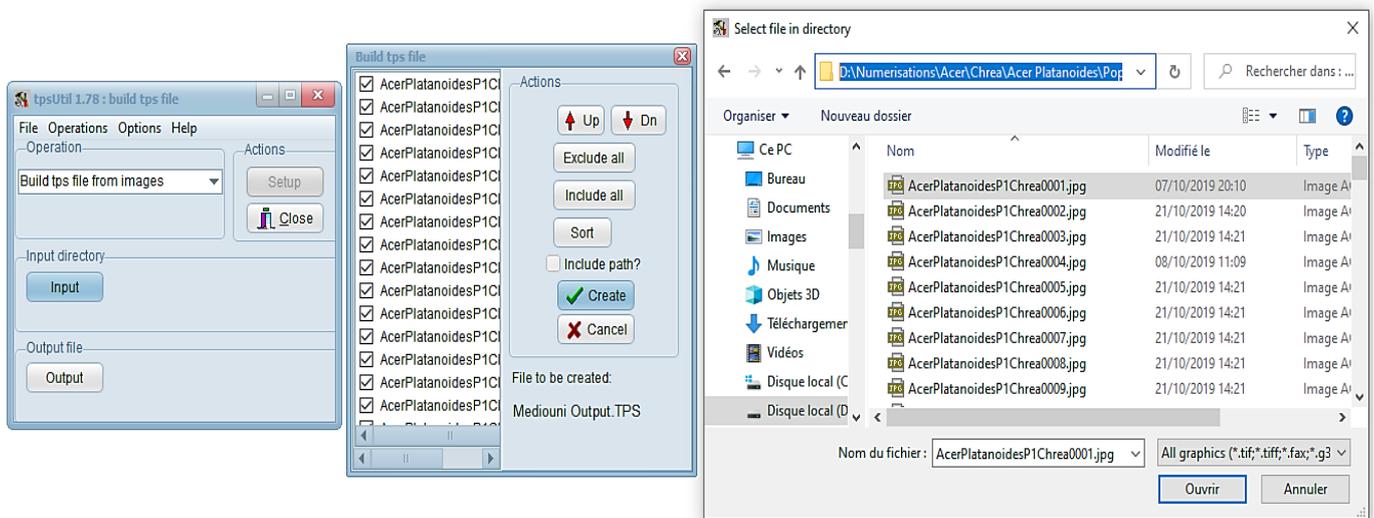


Figure 20 : Technique d’utilisation de TPSutil32

3-3-4 DIGITALISATION PAR POINTS DE REPERES :

Cette phase comprend les premiers signes de la géométrie dont on applique de points de repères pour couvrir une zone histologique importante par exemple : point de connexion entre le pétiole et la limbe, l’apex du lobe central au niveau d’un

compartiment anatomique exemple feuille, fruit, queue d'un poisson, tête d'un nématode

Le meilleur qui d'écrit les critères dont on pose une digitalisation et (Bookstein) ou il a devisé les critères en 3 types selon une priorité hiérarchique

Type I : réfère les points qui détermine soit le squelette principal d'objet analysé ou les connections histologiques majeurs comme le type de pétiole, le lien entre le pétiole et la limbe, l'apex de la feuille

Type II : réfère les points qui compose la forme des compartiments anatomique considéré secondaire en termes d'importance, comme les angles entre le lob latéral gauche ou droit et le lob centrale de la feuille

Type III : généralement facultative, il réfère tout ce qui est considéré comme détail additionnel ou déformation de forme pour clarifier certaines situations, Exemple type de courbure dans un lobe ou l'apparition des dents latéraux dans le limbe

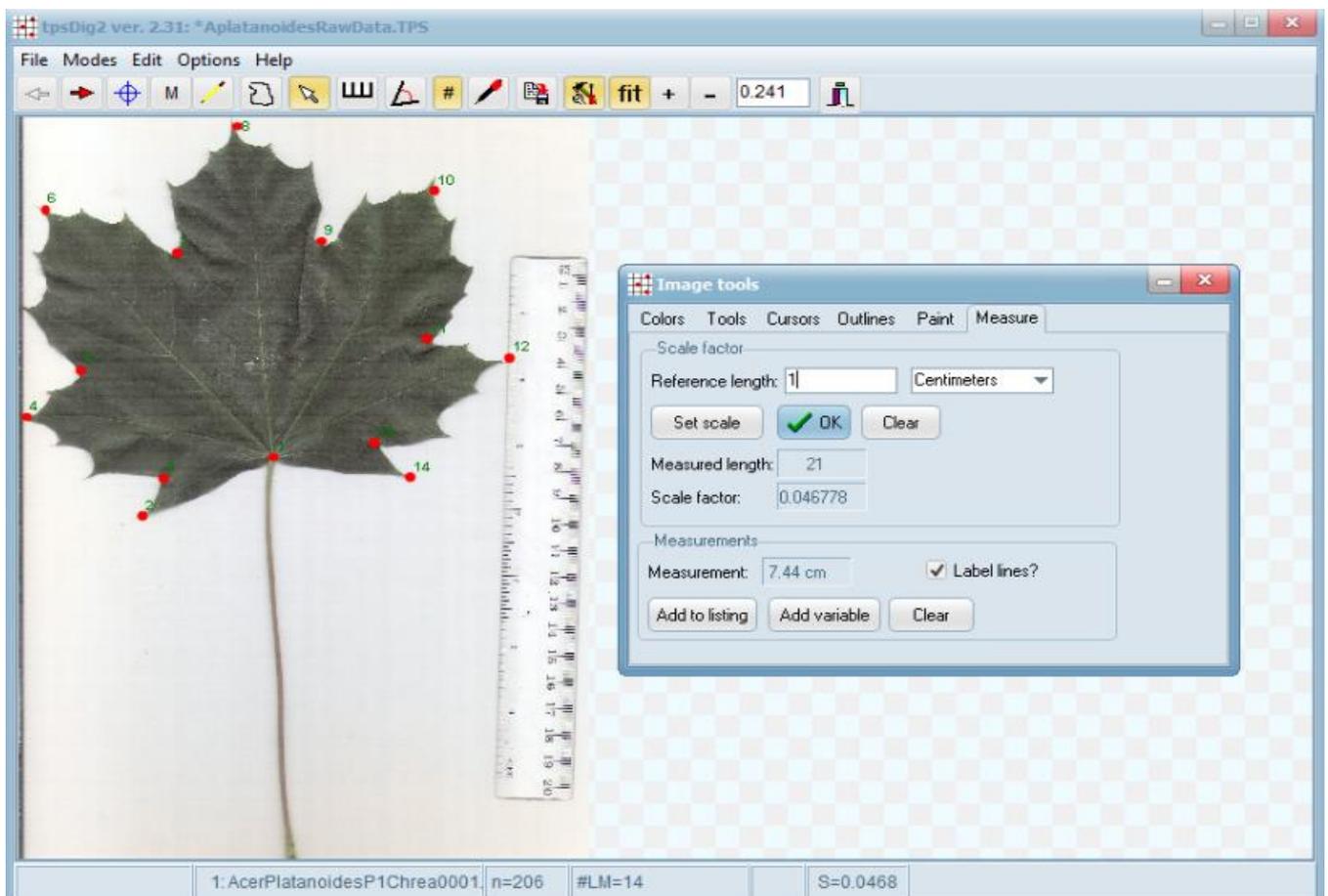


Figure 21 : Configuration des données par TPSdig2

A l'heure actuel il n'existe pas des critères bien déterminé pour limiter le nombre des points de repères mais l'essentiel est que le nombre suffit pour couvrir une zone importante de l'objet étudié néanmoins inclus les points responsables à l'identification, pour cela sous-estimer le nombre de points peut provoquer des instabilités lors de l'analyse par exemple prendre un nombre assez élevée de points, impacte le temps de réalisation de travail, rendre la stratégie de digitalisation plus complexe et plus difficile et plus compliqué vu que parfois en confronte des spécimens de même taxon mais qui ne se ressemblent pas phénotypiquement (Figure 21)

Augmenter le nombre de points pas forcément indique une haute précision à l'analyse, il peut nous aider à atteindre une forme très semblable à celle de l'Object mais aussi saturé l'analyse statistique néanmoins augmente le taux d'erreur. Donc la conclusion et d'optimiser le nombre de points de repères pour équilibrer l'analyse

Remarque :

Veillez noter qu'il faut toujours sauvegarder l'état d'avancement après le dépôt des points de repères dans : File -> Save -> TPSdata pour éviter la perte d'information.

3-4 PHASE (IV): ANALYSE STATISTIQUE :

La phase des analyses statistiques est considérée comme une phase de récolte et un grand pas pour la réalisation d'un travail de morphométrie géométrique surtout après un long parcours de digitalisation, de vérification et de purification des spécimens

Avoir un fichier .TPS purifié des spécimens endommagé, code pour une collection bien déterminé de points de repères, même bien immatriculé est malheureusement insuffisant pour lancer directement une analyse statistique, le problème c'est que ce dernier est basé sur des valeurs qui codes uniquement des données (points de repères) en deux dimensions, et pour cette raison il faut appliquer une méthode mathématique (Ordination) qui est considéré comme la magie qui fait éliminer les trois grosse problématiques dans le domaine de géométrie qui sont la translocation, la rotation et l'agrandissement des objets.

Lors des analyses statistiques, le chercheur va explorer un monde vaste d'analyses et des méthodes, pour éviter les complications ce travail doit résumer brièvement les meilleurs moyens d'analyses de données pour chaque type

3-4-1 PREPARATION DES DONNEES SELON UNE ORDINATION PROCRUSTE (PROCRUSTES FIT) :

Analyse Procruste « Procruste fit », sur le plan des calculs mathématiques, est une approche très vitale pour initier une analyse géométrique différentes ce qui indique des avantages mais aussi des inconvénients, par exemple la limite de dimensions

Figure : explique les trois phases d'une imposition Procruste dont (a) réfère l'ajustement d'un objet a travers son facteur d'échelle, (b) réfère la translocation

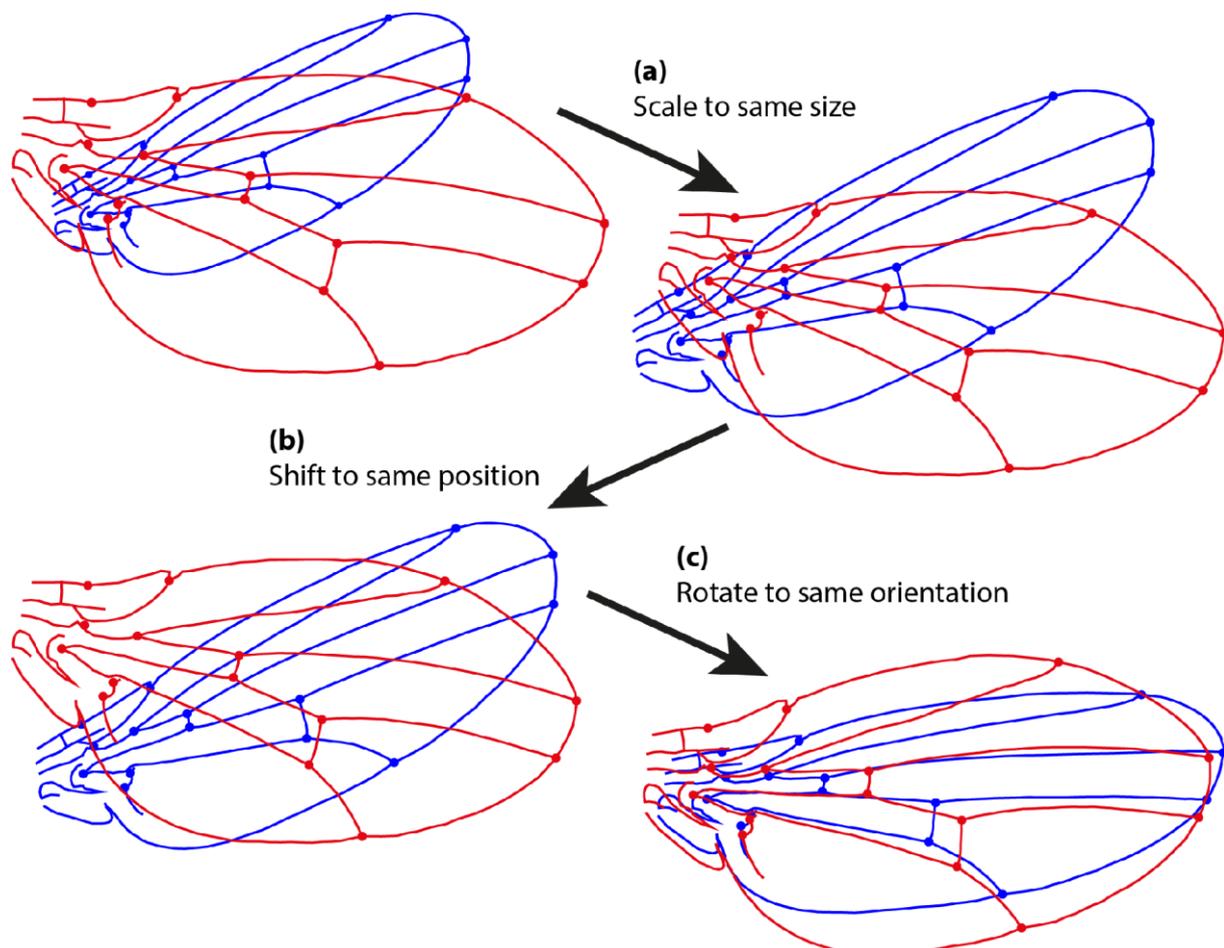


Figure 22 : Super-imposition d'un objet lors d'une analyse Procruste (Klingenberg 2015)

D'objet vers l'objet de référence, (c) réfère la rotation de l'objet par rapport au objet de référence

Remarque :

L'objet de référence se différent d'une analyse a une autre parfois, (l'objet est théorique) est calculé selon la formule de taille et de forme moyenne du groupe d'objets analysé (mean-shape), néanmoins il peut être un seul objet qui va être sélectionné vu ses caractéristiques pour évaluer les autres (objet réel)

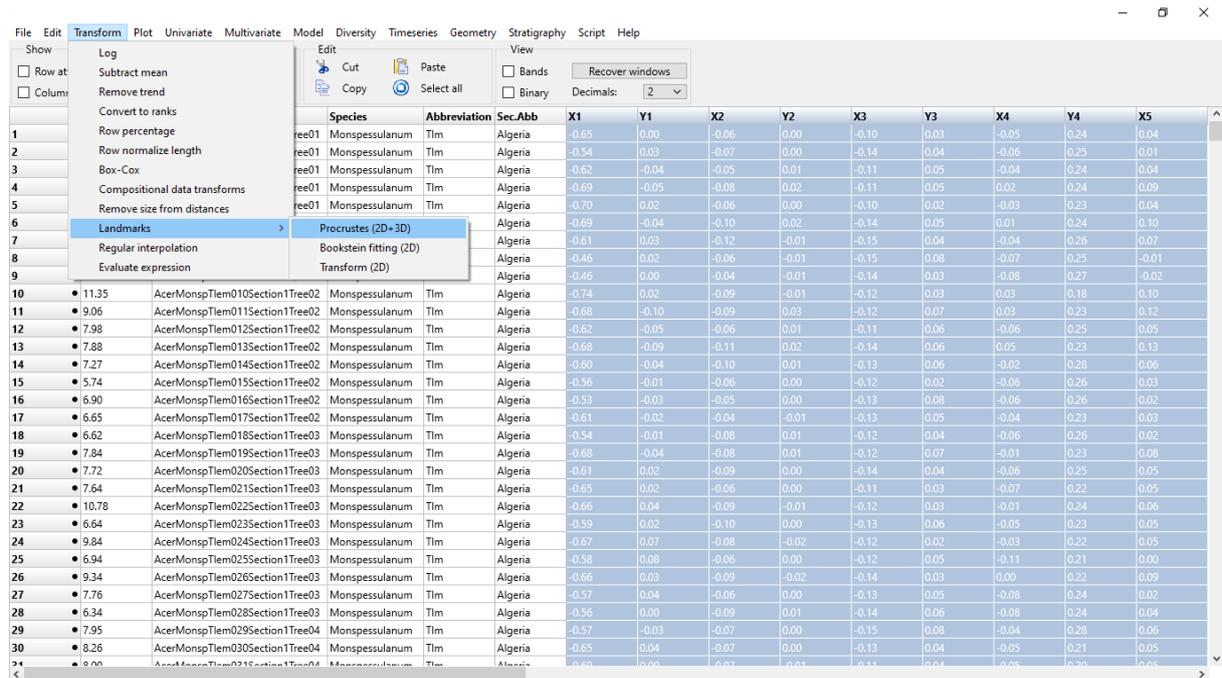


Figure 23 : Révélation des données et de méthode d'ordination par le logiciel Past

3-4-2 TYPE I- TENDANCES GLOBALES :

Cette phase est très importante, et elle peut impacter les restes des résultats, cette phase d'abord nécessite une connaissance dans le Domain de l'anatomie des feuilles et ces formes pour bien comprendre les tendances, le catalogue en Figure24 explique plus de détails sur ce contexte. L'analyse des tendances requies l'intégration de l'analyse en composant principale, ACP Il faut clarifier que l'ACP et l'un des composants de tendances Globales de Forme dont l'axe PC1 est généralement le plus représentatif des valeurs d'inerties, d'une autre part des unités de changements ou de déformations majeurs suivie par PC2 comme composante secondaire en termes d'importance.

L'ACP dépend de l'aspect visuel mais elle peut être transformée en matière statistique par les scores de la première composante néanmoins elle n'est pas considérée comme le seul représentant de cette section d'analyse et elle doit être accompagnée par d'autres outils tels que la régression et les boîtes à moustaches qui dépendent parfaitement de l'aspect visuel mais aussi de l'aspect statistique.

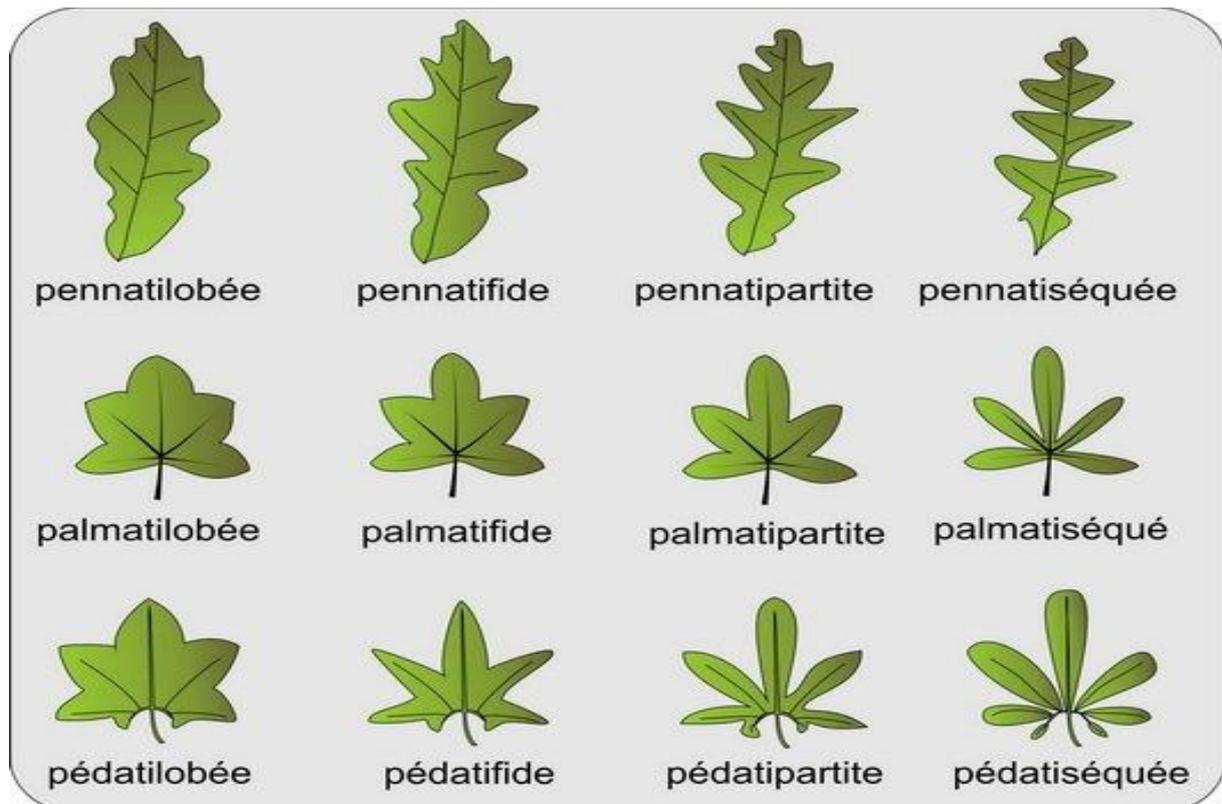


Figure 24 : Formes foliaires en anatomie morphologique d'une feuille notamment l'érable

L'objectif principal de l'ACP est d'évaluer le degré des changements ou des tendances de formes, détecter les formes principales et illustrer la composition des observations et leur groupe d'appartenance. L'évaluation du degré de déformation est mise en évidence à travers les scores obtenus des équations stochastiques de l'ACP dont chaque axe ou composante (PC) propose une série de ces scores et bien sûr chaque score code pour une section de forme bien déterminée, la meilleure visualisation de ces performances est par l'application des boîtes à moustaches, ce qui indique indirectement l'intervention des statistiques descriptives notamment les valeurs Minimales, Maximales, Quartile y compris la Médiane (Figure 25)

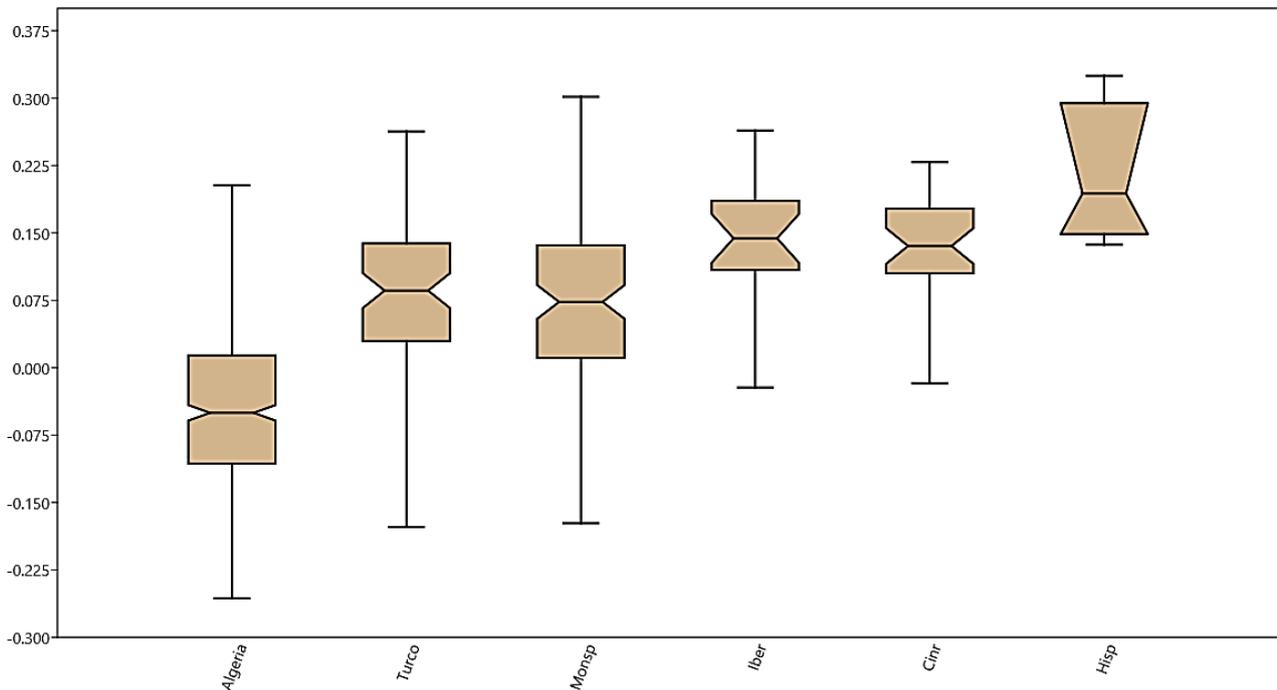


Figure 25 : Représentation des scores d'ACP en fonction de chaque groupe d'appartenance

Le pouvoir de la fonction est illustré en fig dont l'opération a produit quatre groupes différents de formes les populations Algériennes domine les scores faibles de l'ACP les populations Euro-Asiatique domine des scores intermédiaires alors que l'Erable *Acer hispanicum* domine les scores élevé, la synthèse de ces informations peuvent facilement nous indique des ressemblances de formes entre les populations Euro-Asiatique et des différences entre la population Algérienne et celle de l'érable *Acer hispanicum*

3-4-2-1 REGRESSION :

Tenant en compte que la majorité d'outil statistique se focalise sur la forme des objets analysé, Le pouvoir de la régression linéaire simple en MG qu'elle permet d'étudier les changements de taille d'un objet en fonction de sa forme et donc l'information acquise de ce genre d'analyse est très importante vu que parfois les objets partagent la même forme mais ne partagent pas la même taille, d'une autre part elle permet d'intégrer d'autres types de statistiques pour évaluer la crédibilité des résultats tel que le coefficient de corrélation de Pearson "r" et le coefficient de détermination "

R^2 , "r" est basé sur une formule mathématique amélioré de la covariance et varie entre 0% et 99% dont 0 code pour l'indépendance totale alors que 99 code pour la dépendance totale, le « r » permet de tester la force de liaison, la dépendance et la direction entre les deux paramètres signalé avant (Taille en cz et déformation en U_i) pour cela , si le coefficient est positive donc les deux facteurs s'appartient a la même direction d'une autre part si l'un des facteurs augmente l'autre aussi augment selon le taux de corrélation , par Exemple un taux de 90% de corrélation de Pearson "r" indique que si le changement de taille par 100%unité l'autre paramètre (déformation) augmente par 90% unité alors que

Pour le deuxième paramètre s'intéresse a mesuré la qualité de représentations des spécimens sur (sur le model statistique) qui est la courbe de régression, cela signifie que si la coefficient est faible -50% donc une large dispersion est existante entre les nuages des points et il est une peu difficile de d'interpréter le résultat statistique mais si le coefficient est assez élevé +70% cela indique que les nuages de points sont très bien adapté au model statistique donc en peut facilement interpréter et prédire la direction de la régression

3-4-3 LDA ET MANOVA :

L'analyse discriminante elle-même peut être deviser en plusieurs stages par Exemple 3 phases comme le cas d'Erable de Montpellier étant une fonction pour zoomer ce qui se passe à l'intérieur de chaque phase de discrimination.

Ce genre d'analyse est connue par sa robustesse et fiabilité pour classifier les groupes d'observations, le produit de la LDA est généralement une pondération multivariée similaire a l'ACP mais comprend des Axes au lieux d'appliquer des composantes (PC) néanmoins provoque une matrice de confusion pour évaluer l'appartenance d'un groupe a un autre selon la loi de contingence (voir annexe)

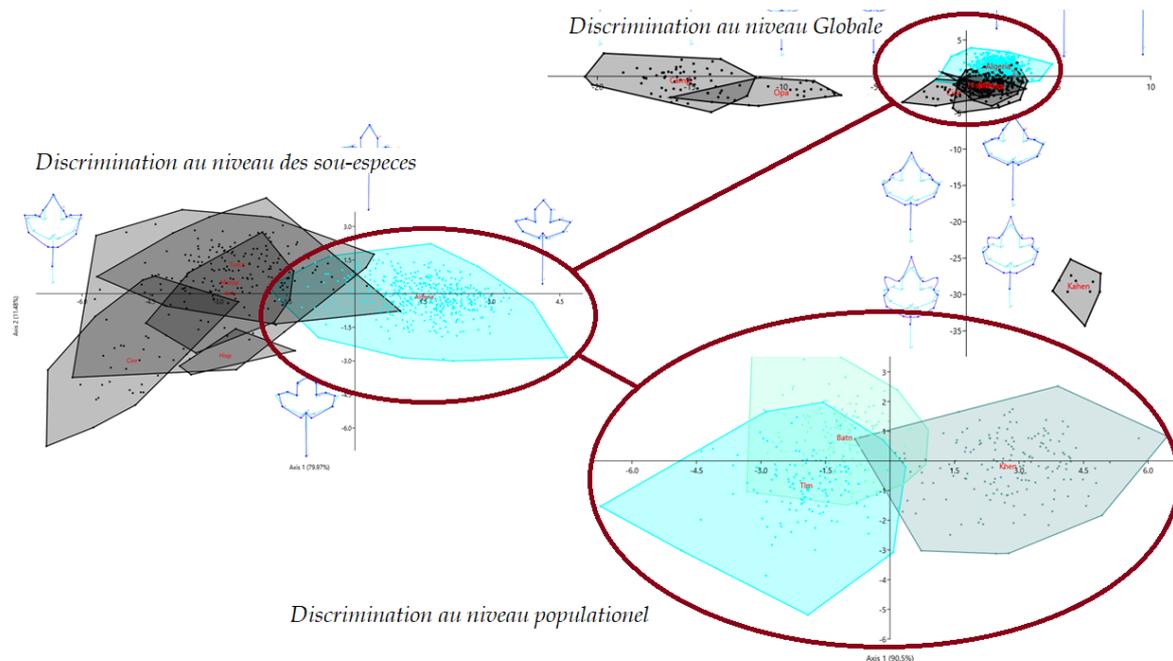


Figure 26 : Investigation taxonomique des populations d'Erable à plusieurs échelles par la méthode LDA

L'intérêt de la MANOVA et de comprendre si les points de repères contribuent d'une façon importante et équilibré

La composition de la MANOVA est :

Le pouvoir de l'analyse multivarié de la variance qu'elle peut évaluer la signification statistique en réuni des facteurs multiples même s'il diffèrent de nature statistique soit dépendants ou indépendants, il existe une similitude entre les résultats statistique de manova et de l'anova comme le P. value et les valeurs F mais le concept de manova reste très différent des concepts des séries statistique de l'analyse de variance car l'application de ce genre d'analyse nécessite une notion logique et une Objectivité dont les variables analysé ou les performances doit strictement construit un Object

3-4-4 ANALYSE DESCRIPTIVE :

Comprend une partie basé sur les statistiques descriptive et une autre complété par une analyse inférentielle, l'analyse descriptive est simple, claire et versatile, les statistiques descriptives joue un rôle important dans n'importe qu'elle type d'étude en morphométrie géométrique en peut appliquer ce genre d'analyse pour investiguer le facteur dépendant (qui est principalement la taille) en fonction de plusieurs

facteurs indépendants comme le sexe des spécimens leurs taxons ou groupes d'appartenances, mais le plus courant c'est d'explorer la taille des spécimens de plusieurs populations ou parfois d'une seule population récolté selon plusieurs zones géographiques

Statistiques descriptives : Ce type d'analyse est considéré très basique en termes de difficulté mais presque indispensable. Il a pour objectif d'atteindre une information unique dans son sens, il est aussi désigné pour deux paramètres qui jouent un rôle majeur à la diversification des données traitées le premier paramètre est la taille le deuxième est le score qui code pour la déformation selon la première composante de l'ACP géométrique

3-4-5 INTRODUCTION AU PARTITIONNEMENT DES DONNEES GEOMETRIQUES :

le partitionnement des données permet d'étudier, distinguer et même révéler les groupes des spécimens en utilisant des approches mathématiques et algorithmiques plus complexes à celle déjà appliquée en ACP et en LDA, les techniques les plus courantes dans le domaine de partitionnement des données sont conceptualisées soit par l'agglomération comme la classification ascendante hiérarchique (CAH) soit par la fragmentation ou décomposition comme la (K-means) et la (K-médoides), sinon, basé sur le calcul de densité (DB-scan), dans ce travail nous allons découvrir l'application d'une parmi ces quatre techniques qu'elle est la K-means mais d'abord il faut discuter brièvement sur quelques détails en ce qui concerne le partitionnement des données notamment les avantages et les inconvénients de chacune de ces techniques.

3-4-5-1- PREPARATION ET NORMALISATION DES DONNEES (SCALING) :

Le Scaling, réfère pour la normalisation des données, c'est une technique de conversion des valeurs pour éliminer le bruit statistique (Noise) et en même temps avoir des résultats plus stables et plus fiables cette technique est appliquée généralement avant lancer des analyses statistiques comme la régression ou les

analyses multivariée mais aussi elle est obligatoire pour la K-means et pour d'autres calculs de partitionnement des données

Il existe plusieurs méthodes pour normaliser les données, dans ce travail on propose quelques-uns :

Z-score : la normalisation des données par le Z-score ou parfois nommé standard score est la

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$
 plus courante, basé sur une formule mathématique sur la moyenne et l'écart-type, le Z-score élimine la grandeur et rend les valeurs plus adaptées à une distribution normale (loi normale).

Coefficient de Variation (Cv) : également nommé l'écart-type relatif, il appartient à la série

$$\frac{\sigma}{\mu}$$
 des mesures de dispersion des nuages de points, le coefficient de variation est une formule mathématique qui appartient au groupe d'analyses descriptives, il a l'intérêt d'éliminer la grandeur et la particularité de soutenir les distributions positives comme la distribution exponentielle et la distribution de poisson.

Studentized Residuals : il est difficile de trouver un terme français pour définir cette

$$t_i = \frac{\hat{\epsilon}_i}{\hat{\sigma} \sqrt{(n-1)/n}}$$
 technique, elle est développée par le Sir, WS Gosset qui a développé les statistiques de Student, la méthode Studentized Residuals a été développée en réalité pour la détection des valeurs atypiques puis elle a été adoptée comme une méthode de normalisation des données, l'optimum pour cette dernière c'est les applications sur les régressions mathématiques mais elle est aussi largement considérée pour le domaine de l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique, le concept est simple, c'est la purification des données par le calcul des scores des résidus et éliminer chaque observation supérieure ou égale à « 3 », ici le chiffre « 3 » indique l'intensité d'un écart-type de 3ème degré d'où généralement représente plus de +99% de la population dont on trouve les valeurs aberrantes.

3-4-5-2- METHODES DE PARTITIONNEMENT DES DONNEES

A- Méthode d'Agglomération par CAH

il est très clair que chaque méthode a ces avantages mais aussi à ces inconvénients en ce qui concerne la CAH, elle permet de détecter les groupes taxonomiques et les groupes d'appartenance d'une façon très simple et très rapide, elle permet aussi

d'atteindre des représentation graphiques très informative comme les dendrogrammes mais ces grandes limitations qu' elle est très faible contre les effectives larges surtout quand en parle des centaines d'échantillons, systématiquement la lecture de dendrogramme à cette condition et presque impossible, parmi les limitations aussi que la technique elle-même propose plusieurs méthodes de calcules dont chaque méthode aussi propose plusieurs types de distances ou de rattachements (Types of Linkage).

En termes d'avantages, la CAH ne nécessite aucune pré-connaissance sur les distributions des groupes d'appartenance ou leur hiérarchie néanmoins c'est elle qui suggère les points importants qui permet la séparation entre les groupes.

Dans cette partie en propose un petit guide pour identifier quelques méthodes applicables la CAH :

La méthode Euclidienne : la plus courante, basé sur la loi de Pythagore, une formule $d(p, q) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2}$. mathématique qui dépends de la puissance carrée, les distances euclidiennes sont designer pour augmenter les valeurs des observations (la fonction puissance carrée) et donc détecter les moindres différences entre les objets analysés

la méthode de Manhattan : basé sur une formule mathématique similaire des distances Euclidienne, la méthode de Manhattan (nommé parfois géométrie de taxi) dépends des valeurs absolue et non pas des puissances carrée, pour cette raison elle fait presque l'inverse des distances Euclidienne car elle réduit les valeurs des observations, généralement cette méthode est très pratique pour le calcules des données assisté qui ne suit pas des distributions mathématiques, cette méthode est très connue dans les analyses des données moléculaires et des données binaires.

La méthode de Mahalanobis : cette méthode est très pratique contre les données instables qui se varie d'une façon aléatoire et ce qui est presque notre cas d'étude, les distances de Mahalanobis ont été développé par (P.C Mahalanobis), globalement c'est une

$$d(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^p \frac{(x_i - y_i)^2}{\sigma_i^2}}$$

méthode basée sur la formule mathématique de la covariance (donc d'une autre part de la corrélation), elle permet de détecter soit les (outliers) mais aussi l'appartenance d'un point à un group spécifique

Types de rattachements (linkages) :

Il existe plusieurs types de Linkage mais dans notre cas on va parler uniquement de ce qui est plus pratique pour notre type d'analyse :

Type Moyen (Average Linkage) : La liaison moyenne est l'endroit où la distance entre chaque paire d'observations est additionnée puis divisée par le nombre total de paires pour obtenir une distance moyenne. La liaison moyenne et la liaison complète sont les deux mesures de distance les plus populaires dans le clustering hiérarchique.

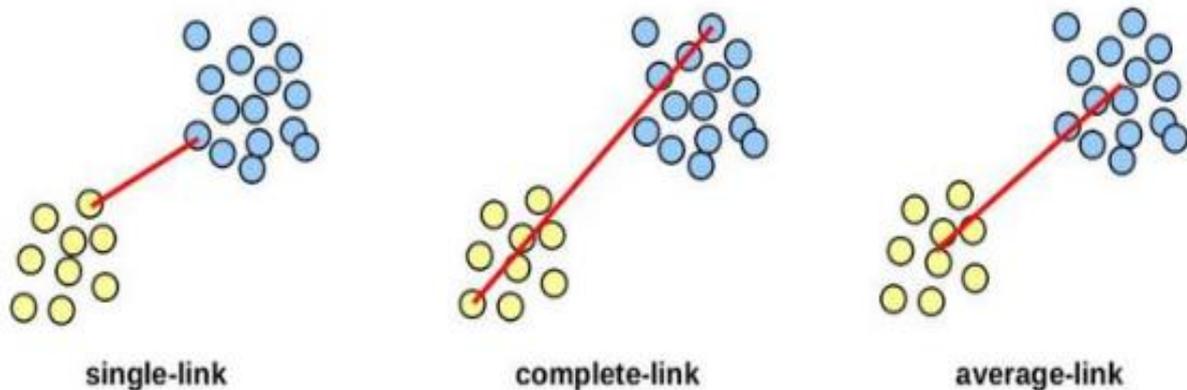


Figure 27 : Représentation sur le concept de quelques types de liaisons (linkages)

Type Minimal (Single Linkage) : En statistique, le clustering à liaison unique est l'une des nombreuses méthodes de clustering hiérarchique. Il est basé sur le regroupement des clusters d'une manière ascendante mais en combinant à chaque étape deux clusters qui contiennent la paire la plus proche à condition qu'ils n'appartenant pas encore au même cluster l'un que l'autre.

Type Maximal (Complete Linkage) : La liaison maximale est la distance entre les éléments les plus éloignés de chaque cluster. Ce type de liaison est généralement déconseillé dans le cas où des outliers (valeurs aberrantes) sont présents

Information importante : le dendrogramme de types UPGMA et uniquement une combinaison des distances Euclidienne et un rattachement (Linkage) par les moyennes (Averages).

B- Partitionnement par la methode des K-means :

C'est une technique moderne et très robuste basé sur le mode de partitionnement des données, le principe de cette technique est simple, régénérer une nombre K (répétitions) de clusters puis calculer la distance entre chaque point et le centroïde de ce cluster, systématiquement n'importe quel changement de distance entre le point et son cluster peut résulter des changement d'appartenance au point ciblé et son groupe de classification, les limitation de cette technique c'est qu'elle nécessite la proposition d'un nombre optimal de clusters qui doit être réaliser par d'autre méthodes comme le DB-scan, le Elbow (Aspet graphique) ou le calcule par la technique Gap-statistics. Donc ce que on peut comprendre c'est qu'elle aussi tolère des optimisations statistiques notamment le Bootstrap, le nombre de centroïde initiales et la méthode de calcul de nombre optimal des clusters ce qui permet de mieux évaluer et partitionnée les données analysées.

3-4-6 QUESTIONS (FAQS) :

Les logiciels utilisés sont tous gratuits ou open source ?

Oui

Est-ce que le Centroïde size et équivalent à la taille réelle de l'Object

Oui à condition que le facteur d'échelle et bien ajusté selon l'unité de mesure requise

Les bases de données nécessitent des Payments pour accéder aux informations ?

Non pour la GBIF mais oui pour la JSTOR

Il est possible d'intégrer des variables et des facteurs supplémentaires comme les coordonnées géographiques au analyses géométriques ?

Oui très possible mais considérer c'est variable facultatifs et non actives donc ils n'appartiennent pas à la construction des axes de l'ACP même s'il apparait sur le diagramme de dispersion

Ya t-il d'autres méthodes statistiques qui n'ont pas été mentionnées dans ce protocole

Oui, Révélation par la méthode t-SNE sinon UMAP qui sont très robustes mais plus complexes

Comment faire un ACP géométrique

A l'aide de Morpho J sinon par PAST

Comment obtenir les formes géométriques

Par les mêmes logiciels

RESULTATS ET DISSCUSSION

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISSCUSSION

1- CAS D'ERABLE DE MONTPELLIER (*ACER MONSPESSULANUM* L.) :

1-1 INTRODUCTION :

L'analyse statistique des populations d'Erable de Montpellier (*Acer monspessulanum*) a pris en considération plusieurs outils, notamment les statistiques multivariée, les statistiques descriptives et inférentielles, ces derniers ont pour objective de détecter les variations entre les populations d'érable et construire un plan de discrimination entre les taxons étudié.

Cette analyse comprend :

- 1- Une phase qui concerne sur les tendances globales supporté par l'ACP, la régression, et des statistiques descriptives représenté par des boites a moustaches (Boxplots) pour évaluer les variations de forme des feuilles entre les populations d'érable.
- 2- Une phase consacrée pour la discrimination supportée par la LDA (Analyse discriminante ou parfois référé comme l'analyse canonique), aussi par les distances de Mahalanobis et une PERMANOVA (Analyse Non-paramétrique et multivariée de la variance) pour séparer entre les groupes taxonomiques
- 3- Une phase de partitionnement des données par la méthode des K-means, cette méthode est intégrée pour estimer et comprendre le nombre groupes taxonomiques générer par les algorithmes mathématiques ce qui aide à affirmer l'hypothèse que les population Algérienne est phénotypiquement très distingué.

Selon la quantité d'information produise et l'intégration de différentes méthodes statistique, cette Analyse doit répond aux questions suivantes :

- 1- Est-ce que la méthode d'analyse des données géométrique est apte pour détecter les différences intéressantes entre les taxons proposé ?

- 2- Ya t'il des différences entre les populations Algérienne et l'autre taxons d'*Acer monspessulanum* ?
- 3- Est-ce que l'analyse des données géométrique a la capacité de proposer l'apparition des nouvelle espèces ou sous-espèces lors de la phase initiale d'une investigation taxonomique ?

Récapitulation des termes qui appartient à cette analyse :

Populations Algériennes : un complexe de populations regroupe un plan d'échantillonnage de trois régions différente (Tlemcen en Ouest d'Algérie), (Batna et Khenchla en Est), les trois sites sont très différents en termes géographiques et écologiques

Population d'Erable continentale : réfère l'écotype *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* qui est le model et la référence de cette espèce.

Population d'Erable Euroasiatique : réfère et regroupe presque la majorité des taxons notamment les sous espèces dans cette analyse sans compter les populations Algériennes, y compris *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum*, *Acer ibericum*, *Acer turcomanicum*, *Acer hispanicum* et *Acer cinerascence*.

1-2 TENDANCES GLOBALES DE LA FORME

L'analyse des tendances globales de la forme a été examiné à l'aide d'une (ACP) Analyse en Composantes Principale, basée sur les données géométriques de 732 feuilles et conditionné uniquement sur 6 populations d'érable de Montpellier ou morphologiquement proches de ce dernier, sans tenir en compte *Acer opalus*, *Acer campestre* et *Acer kahenae*, l'analyse explique une partie majeure de variation en termes de forme principalement dans les deux premières composantes (68,1 % d'inertie), où PC1 explique 45,27 % et PC2 explique 22,83 % respectivement (Fig2) , la validité des composantes a été vérifier selon la méthode de coud statistique (Fig.3). Cette analyse (ACP) a pris en considération les populations d'*Acer monspessulanum* et ses sous-espèces apparentées dont la première composante PC1 a mis en évidence au minimum trois propositions importantes :

- 1- Elle Sépare entre la population algérienne et les populations Euroasiatique et donc propose la population locale étant une Entité distingué et très différente des autres
- 2- La population Algérienne (marqué en Bleu) domine la partie négative du graphe alors que la population de l'*Acer hispanicum* reçoit le plus grand score sur le côté positive de l'ACP, donc considéré étant la plus éloignée.
- 3- La population de l'éérable continentale *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* partage les mêmes performances que l'*Acer turcomanicum*, ce qui est claire dans le graphe.

La deuxième composante PC2 mis en évidence deux propositions importantes dont :

- 1- Elle propose *Acer cinerascence* comme population dominante sur le côté positive de la fonction alors que les populations Algériennes (marqué en Bleu) est toujours sur le côté négative.
- 2- Elle considère aussi *Acer cinerascence* comme la population la plus éloigner en termes de forme par rapport à l'autre érables

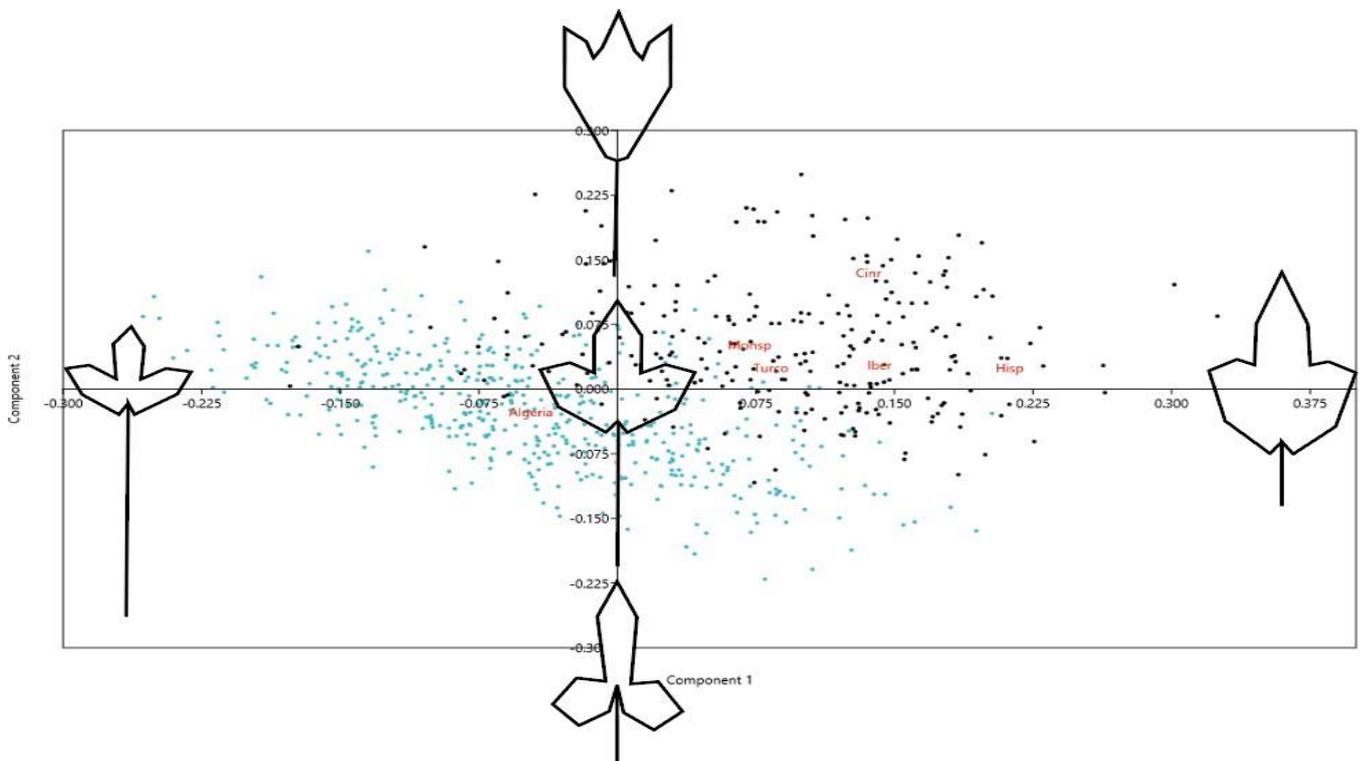


Figure 28 : Diagramme de dispersion PCA basé sur 15 points de repère, 732 feuilles et 5 taxons d'espèces d'*Acer*, ici *Acer monspessulanum* algérien est coloré en bleu, PC1 explique 45,27% de variance et PC2 22,83% de variance.

Concernant le diagramme de dispersion, il joue un rôle cartographique pour la détection des déformations, vu que la première composante PC1 indique presque toutes les différenciations importantes de forme, selon une lecture du coté négative vers le coté positive on peut facilement détecter des changements au niveau des feuilles par la technique de fragmentation des intervalles d'inertie selon l'axe des "X", alors que :

A [-0.3 vers 0.0 unité d'inertie] : La population dominante est l'Algérienne et les caractères signalés sont des pétioles très long, une petite base de feuille par des lobes très fine ; globalement la taille de feuille est grande et influencé par la longueur du pétiole (confirmé par la régression)

A [0.0 vers 0.15 unité d'inertie] : Les populations dominantes sont *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum*, *Acer turcomanicum*, *Acer ibericum*, *Acer cinerascence* les caractères signalés sont des pétioles d'une taille moyenne, base de feuilles équilibré et homogène avec des lobes latéraux épais ; taille de feuille moyenne

A [0.15 vers 0.3 unité d'inertie] : La population dominante est *Acer hispanicum* les caractères signalés sont des pétioles de petite taille, base de feuille avec des lobes latéraux larges ou épais ; feuille d'une très petite taille

Donc comme une récapitulation des performances de la première composante PC1 on peut dire qu'elle contrôle la longueur du pétiole, la largeur des lobes et la taille de la feuille

Points critiques : l'analyse n'as pas pris en considération l'architecture de la limbe et l'apparition des dents latéraux au niveau des lobes latéraux

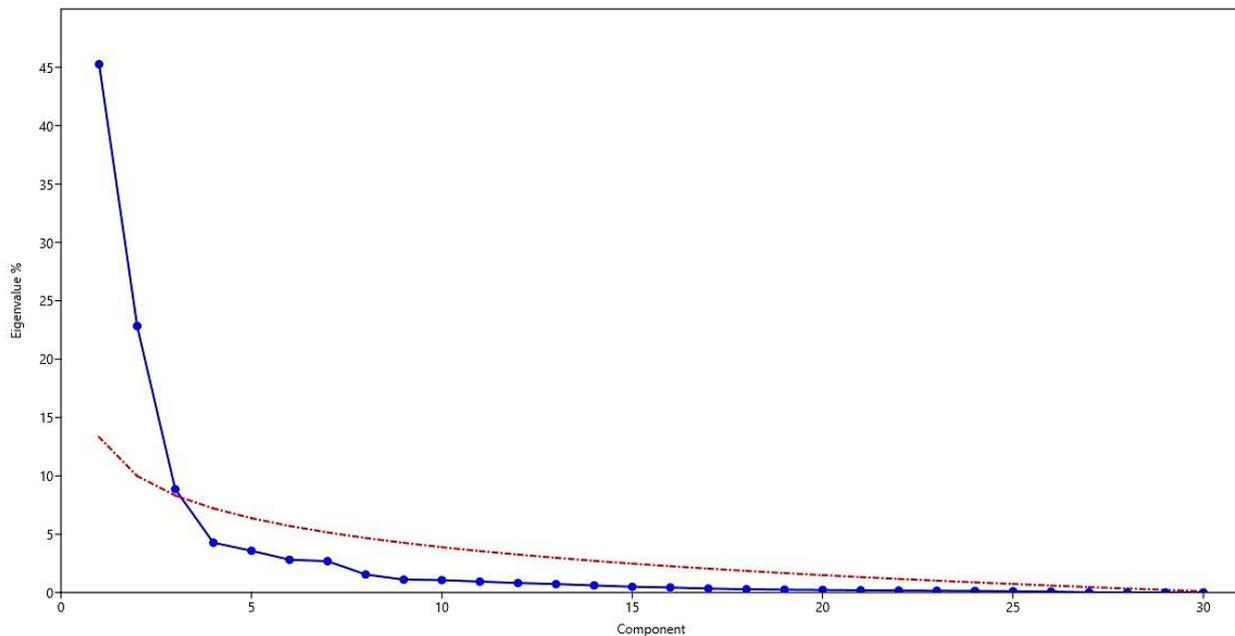


Figure 29: La technique du coud (une méthode de vérification) qui propose les trois premières composantes de l'ACP étant les dimensions qui impacte la majorité des résultats

La deuxième composante principale PC2 est aussi importante dans cette analyse car elle décrit des changements intéressants au niveau des lobes latéraux, la méthode d'étude est toujours la même selon une lecture du côté négative vers le coté positive et une fragmentation des intervalles d'inertie selon l'axe des "Y" et donc :

A [-0.225 vers 0.0 unité d'inertie] : population dominante est l'algérienne, parmi les changements on remarque une base de feuille concave avec une direction des lobes latéraux parfaitement inferieurs (angle négative) ; conformation de feuille hasté

A [0.0 vers 0.225 unité d'inertie] : population dominante et l'Euroasiatique, direction des lobes latéraux vers le coté supérieur (angle étroit), base de feuille avec une tendance vers la convexité ; conformation cunéiforme

Donc globalement la deuxième composante PC2 contrôle la dispersion et la direction des lobes.

Remarque : le terme unité d'inertie et le même à celui unité de variance

Les informations complémentaires concernant l'analyse en composantes principales (ACP) ont été expliquées à l'aide de statistiques descriptives notamment les minimas, les maximas, les quartiles, et la médiane, les valeurs ont été converties en boîtes à moustaches (Fig) ciblant la composante (PC1) qui détaillent les déformations majeures selon chaque groupe taxonomique, y compris les populations algériennes. Tenant en compte que les médianes sont considérées comme la clé principale de comparaison qui concerne les boîtes à moustaches, elles bénéficient aussi d'avantages par rapport aux valeurs aberrantes (Outliers) ce qui permet d'augmenter la qualité d'interprétation et précision du model statistique.

Selon la représentation graphique chaque groupe est marqué par une médiane représentative et donc considéré diffèrent en termes de forme des feuilles par rapport aux autres groupes sinon les taxons à l'intérieur sont considérés très proches ou similaires.

La représentation graphique nous permet de distinguer clairement 4 groupes de formes, le premier groupe est lié aux populations Algériennes d'*Acer monspessulanum*, et varie entre des minimums vers -0.22 unité d'inertie, des maximums vers 0.15 unité d'inertie et une médiane vers -0.075 unité d'inertie cette médiane est considéré la valeur plus inferieur dans cette analyse, et donc globalement ce groupe rapport des différences majeurs par rapport aux autres populations d'érables mais aussi des différences mineures entre les populations d'Algérie, signalé par les perturbations lie à la valeur de la médiane ce qui indique autrefois une variabilité intra et inter populationnel.

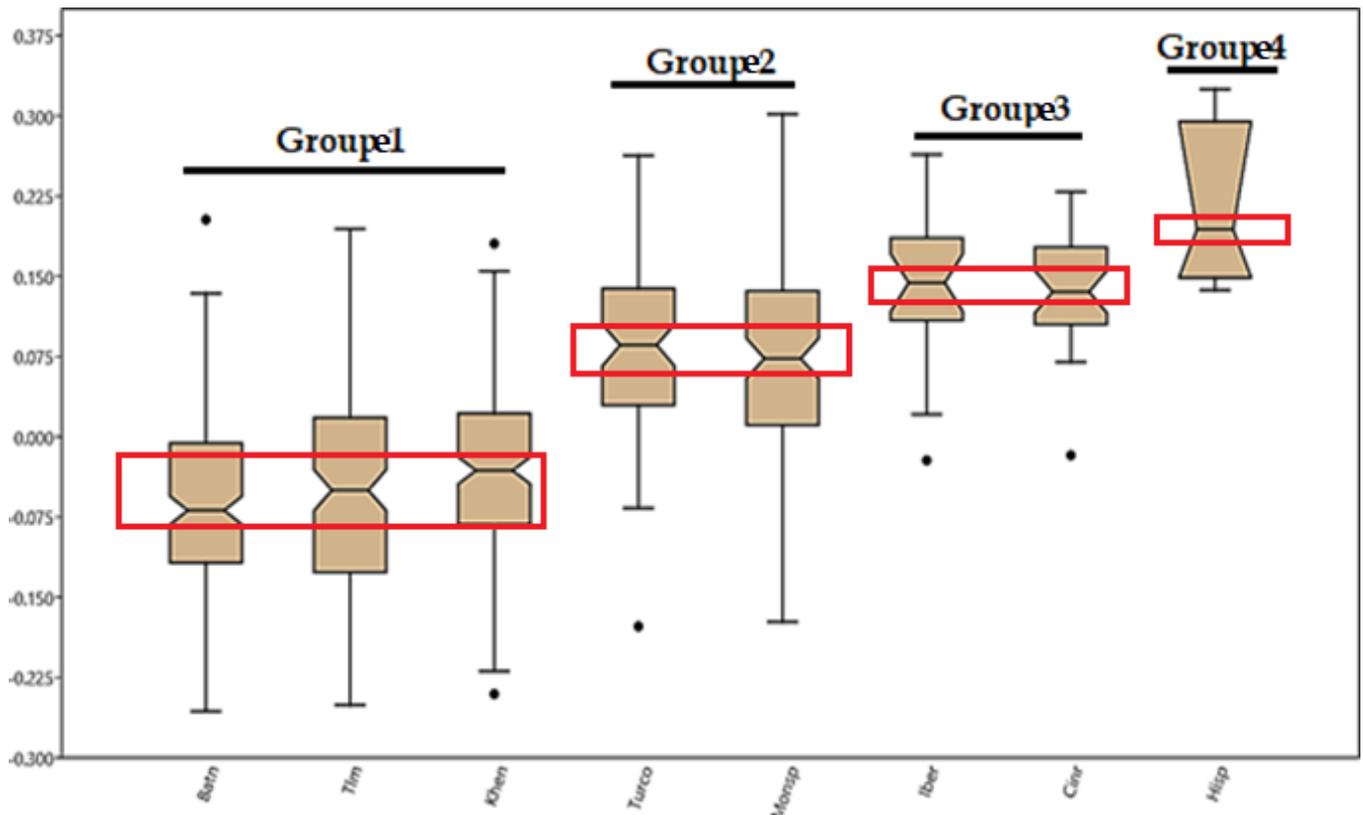


Figure 30 : Boîtes à moustaches de la variance de la forme des feuilles de PC1 pour chaque localité d'*Acer monspessulanum* en Algérie et en outre d'autres taxons apparentés.

Le second groupe est lié à l'érable continentale *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* et *Acer turcomanicum*, ce groupe varie entre un minimum vers -0.15 unité d'inertie, un maximum vers 0.3 et une médiane vers 0.075 unité d'inertie. Le groupe indique que les deux taxons sont proches, la valeur de médiane est considérée intermédiaire.

Le troisième groupe est rapporté entre *Acer ibericum* et *Acer cinerascence* qui partage presque la même médiane vers une valeurs de 0.15 unité de variance, des valeurs minimales de 0.0 et des valeurs maximales vers 0.225.

Tandis que le quatrième (dernier groupe) caractérise parfaitement la population d'*Acer hispanicum*, il garde les plus fortes valeurs notamment une médiane vers 0.2 unité d'inertie, une valeur minimale vers 0.150 et une valeur maximale de 0.310 unité d'inertie.

Il est très important d'étudier la relation entre la taille et la forme des feuilles à ce stade d'analyse, car la taille pourrait indiquer des différences intéressantes qui ne peuvent pas être détectées en utilisant uniquement l'analyse des données de forme.

La relation entre la forme et la taille a été explorée par une régression linéaire simple, basée sur le score de la première composante PC1 contre les valeurs de taille, le teste statistique propose une probabilité extrêmement significative mais un coefficient de corrélation considérablement négative ($Pr < 0,0001$, $r = - 0,562$) révélant que les feuilles d'érable Algérien représentent un centre contracté et de longs pétioles, alors que les échantillons Euroasiatiques ont un centre de feuille plus large plus décontracté, et des pétioles plus courts.

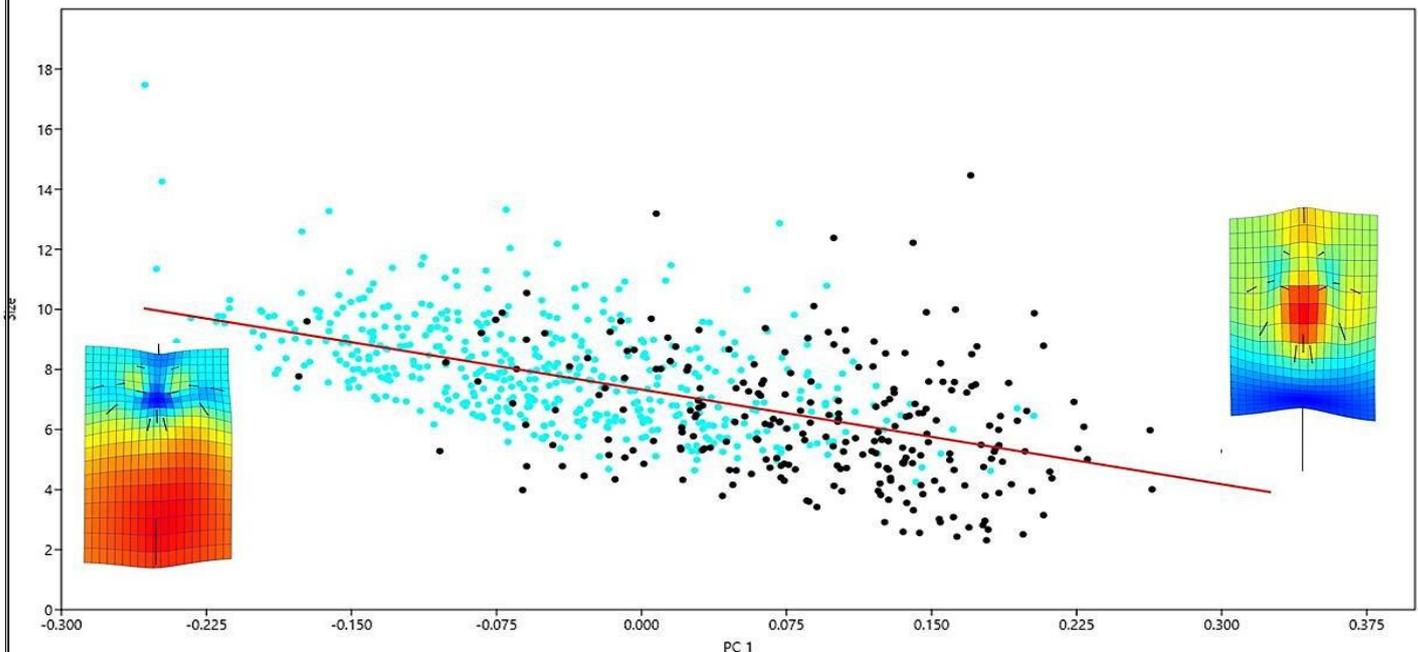


Figure 31 : Régression de la forme par rapport à la taille des feuilles d'Erable, les feuille d'Algérie sont marqué par des points bleus et les feuilles d'Erable Euroasiatique sont marqué par des points noirs

Globalement on peut dire que le résultat de la corrélation indique une dépendance importante entre la taille et la forme des feuilles, le model statistique de la régression prédit des grands changements et des déformations le long de la forme des feuilles en fonction d'une diminution de la taille, une autre information importante c'est que les feuilles algériennes semblaient ou apparait être supérieures en termes de taille plutôt que celle d'érable Euroasiatique.

Remarque : le terme taille dépend de deux facteurs qui sont la dimension de la limbe (partie supérieure de la feuille) et la longueur de pétiole.

1-3 DISCRIMINATION AU NIVEAU GLOBALE :

Pour évaluer le taux de discrimination dans l'ensemble des données globales, 828 feuilles ont été soumises à une analyse discriminante (LDA). Le résultat révèle 4 axes, où le premier et le second expliquent respectivement 56,18% et 31,84% variance (88,02% au total). La qualité de représentation a été confirmée par des Eigenvalues supérieurs à 1, le modèle propose aussi une matrice de précision (parfois nommée matrice de confusion) a un taux de 86,84% donc 86,84% des échantillons ont été correctement classés lors du Jackknifing et qui peut évoluer jusqu'à 89,25 % sans Jackknifing ce qui est très acceptable pour une évaluation statistique.

Remarque : Jackknifing est une méthode de révision de biais statistique qui a été remplacée récemment par une autre méthode plus fiable mais plus complexe qu'elle est le Bootstrap.

1-3-1 REVELATION PAR LE MODEL LDA :

Le LDA en anglais (Linear Discriminant Analysis) révèle trois groupes hautement discriminés, Le premier est (A) qui est le représentant de *Acer kahenae* se situe à faible score de l'Axe 2 vers l'intervalle [-25 ; -35] Unité d'inertie, le groupe est caractérisé par une forme très distinguée dont des gonflements au niveau des sinus qui se situent entre les lobes latéraux et le lobe central et une décontraction sur la partie basale de la limbe.

Le groupe (B) est considéré comme un groupe central représentant de toutes les sous-espèces d'*Acer monspessulanum* avec *Acer hispanicum*, il domine la partie positive de l'Axe1 vers l'intervalle [-3 ; 10] Unité d'inertie, il est clair que la population Algérienne a été clairement séparée de l'érable Eurasiatique, néanmoins, le modèle statistique propose que la différence principale soit résolue selon la forme des lobes latéraux

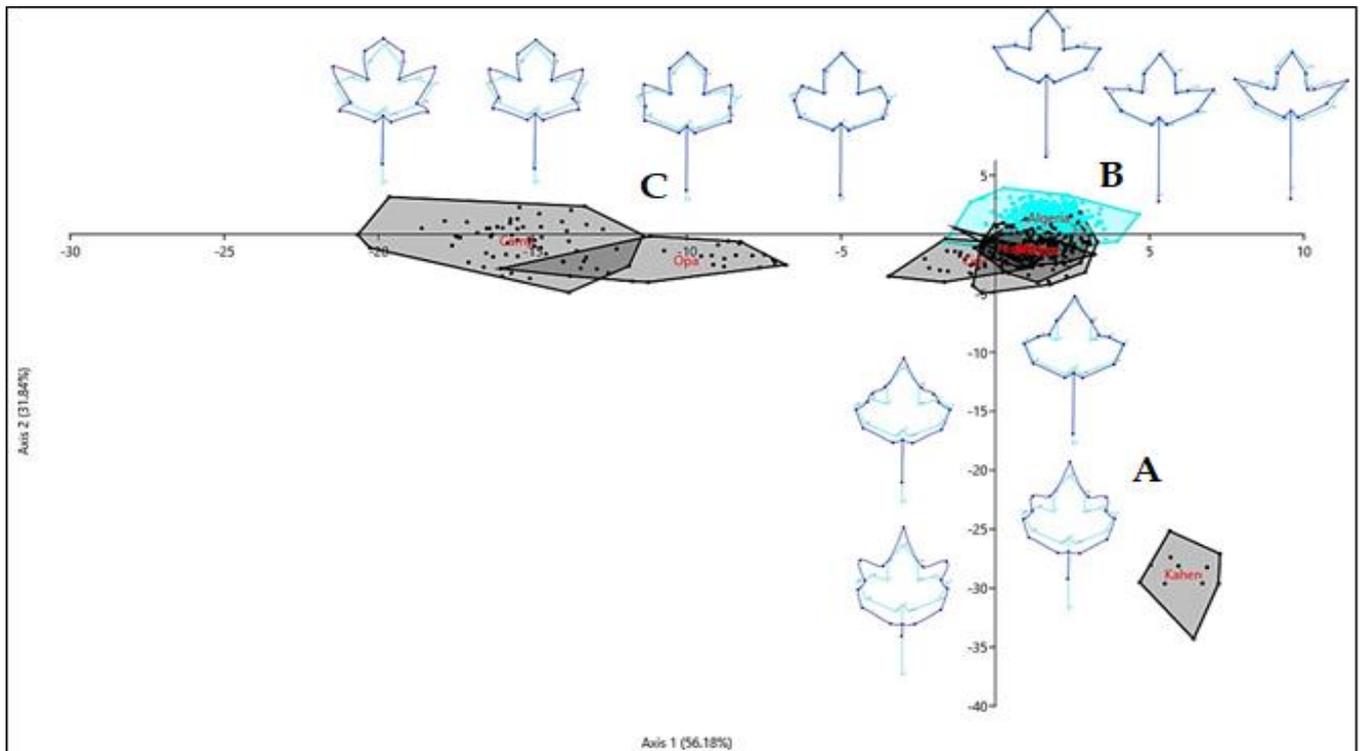


Figure 32 : Une analyse discriminante sépare clairement les échantillons d'*A. opalus* et d'*A. campestre* (à gauche) des alliés d'*A. monspessulanum* (au centre) et d'*A. kahenae* (en bas).

Le groupe (C) représente *Acer opalus* et *Acer campestre*, bien séparés sur côté négatif de l'Axe 1, les informations récoltées sur le graphe indique que le model statistique a retenu la capacité de détecter les différences entre les taxons et donc séparer entre chaque entité ou spécimens

Et donc globalement on peut dire que la discrimination a été faite selon les critères suivants :

- L'axe 1 de la fonction LDA décrit un changement de forme d'une feuille palmée à cinq lobes (penta lobée) chez *Acer campestre* à une feuille à trois lobes chez *Acer opalus* et *Acer monspessulanum* où les lobes inférieurs ont été réduits.
- Une dépression au niveau des apex contrôlée (Landmark4 et landmark11)
- L'axe 2 décrit le changement de forme d'une feuille large mais profondément lobée au centre chez *Acer monspessulanum* à des feuilles légèrement lobées avec une base de feuille ovale chez *Acer kahenae*

Remarque : contrairement à l'analyse des tendances de forme (principalement l'Analyse en composante principale), on remarque que les pétioles n'ont pas été considérés d'une façon importante par le modèle statistique de l'analyse discriminante surtout sur le premier axe (Axe1) qui est l'axe majeur.

1-3-2 REVELATION PAR LES DISTANCES DE MAHALANOBIS :

Pour argumenter et justifier les résultats de l'analyse discriminante, la différence entre les groupes a également été explorée par une matrice de distances de Mahalanobis, le principe des distances de Mahalanobis est simple dont les taxons qui expriment une valeur de distance faible sont les taxons les plus proches alors que les taxons qui proposent une valeur de distance élevée sont les taxons les plus éloignés, jusqu'à maintenant il n'existe aucun barème pour évaluer les intervalles des distances et dans ce cas-là on propose que :

- *Les taxons qui résultent des distances inférieures à 5 Unités sont considérés très proches sur le profil géométrique.*
- *Les taxons qui résultent des distances entre 5 Unités jusqu'à 9 Unités sont considérés assez proches sur le profil géométrique.*
- *Les taxons qui exposent des distances de 9 Unités jusqu'à 13 Unités sont considérés éloignés.*
- *Les taxons qui proposent plus de +13 Unités sont considérées extrêmement éloignées sur le profil géométrique.*

Parmi les critères de départ pour interpréter les résultats des distances de Mahalanobis on a premièrement la considération de la population Algérienne étant une entité distinguée, puis l'intégration des populations d'*Acer campestre* et *Acer opalus* étant une solution arbitrale pour justifier le polymorphisme exprimé par *Acer monspessulanum* mais aussi intégrer pour la première fois un taxon très mal connu qui est *Acer kahenae* et tenter de comprendre la géométrie et la morphologie de feuille de ce dernier dans un mix de populations.

Tableau 5 : Distances de Mahalanobis entre tous les groupes échantillonnés (taxons)

	Alger	Camp	Cinr	Hisp	Iber	Kahen	Monsp	Opa
Camp	17,3480							
Cinr	6,8485	16,0258						
Hisp	6,3783	17,3478	5,5664					
Iber	4,7885	16,9815	4,5441	5,7529				
Kahen	25,2191	32,1660	23,3627	25,1125	23,6670			
Monsp	4,2680	17,1421	4,0806	5,6991	2,8340	22,9799		
Opa	13,5085	9,8136	11,0720	12,8874	13,2374	28,5553	12,6935	
Turco	4,3981	17,2882	4,8027	5,6716	2,8317	22,8873	1,5875	13,4107

1-3-3 MESURES INTER-POPULATIONELLES :

Cette mesure considère principalement les différences entre les groupes « A », « B » et « C » mentionné par l'analyse discriminante dont « C » réfère *Acer opalus* et *Acer campestre*, « B » réfère *Acer monspessulanum* et « A » réfère *Acer kahenae*.

La valeur de Mahalanobis la plus élevée était 32,16 rapportés entre *Acer campestre* contre *Acer kahenae* suivis par 28,55 entre *Acer opalus* contre *Acer kahenae*. Ce qui indique des dissimilitudes énormes entre *Acer kahenae* et ces deux taxons en termes de forme géométrique néanmoins le même taxon indique d'autres valeurs qui se varie entre 22 et 25 par rapport à *Acer monspessulanum*.

Donc globalement on peut dire que le résultat confirme que ce taxon qui code pour le groupe « A » est très différente des autres, sinon des dissimilitudes aussi importantes ont été signalé une autre fois entre le groupe « C » et le groupe « B »

Remarque importante : même si le model LDA a classé les deux taxon *Acer campestre* et *Acer oplaus* étant de même group (proches en termes géométriques) selon une lecture d'après la figure mais le model statistique de Mahalanobis propose qu'ils sont aussi diffèrent par une mesure de 9.8 Unités, l'explication de ce phénomène peut être due que le model de la LDA n'as pas pris en considération l'analyses en trois dimensions (X,Y, et Z) mais uniquement deux et pour cette raison même s'il figurent dans le même sens (proches) en aspect visuel, les statistiques de Mahalanobis nous indiquent quelques précautions.

1-3-4 MESURES INTRA-POPULATIONNELES :

Cette mesure caractérise uniquement le groupe B d'*Acer monspessulanum* et ses composants (sous-espèces) Cependant des similitudes de forme élevées ont été observées entre l'érable continental *Acer monspessulanum* et *Acer turcomanicum*, donnant la valeur la plus faible de 1.58 Unités, suivie par 2.83 pour ce qui concerne *Acer ibericum* contre *Acer turcomanicum* et *Acer ibericum* contre *Acer monspessulanum* (population continental).

Selon le même model statistique, les populations les plus éloigné par rapport à la population Algérienne sont *Acer hispanicum* et *Acer cinerascence* par des valeur de 6.3 et 6.8 Unités respectivement, mais l'autre information c'est que on peut pas considéré le reste des taxon étant très proches a la population Algerienne vu que les valeurs de distances obtenues par ces derniers montre un résultat médiocre par exemple 4.2 Unités pour *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum*, 4.3 Unités pour *Acer turcomanicum* et 4.7 Unités pour *Acer Ibericum*.

Remarque : Une grande similitude est signalée entre les résultats de Mahalanobis et de l'analyse discriminante, (complémentarité statistique).

1-3-5 VERIFICATION PAR MANOVA NON PARAMETRIQUE :

Le test de la MANOVA non paramétrique (PERMANOVA) a fourni une différence globale significative Pr < 0,001 entre les taxons étudiés. Les valeurs de probabilité « Pr. » ont été corrigées selon le modèle robuste de Bonferroni, dont cette correction a mis en évidence quelque exceptions car le model à considérer trois comparaisons étant non significative est ce qui est le cas d'*Acer hispanicum* contre *Acer ibericum* (Pr. = 1), *Acer turcomanicum* contre *Acer monspessulanum* continental (Pr. = 0.11) et *Acer kahenae* contre *Acer hispanicum* (Pr. = 0.06).

Tableau 6 : Les taux de signification de la PERMANOVA après la correction de Bonferroni

	Alger	Camp	Cinr	Iber	Monsp	Turco	Hisp	Kahen	Opa
Camp	0.003**								
Cinr	0.003**	0.003**							
Iber	0.003**	0.003**	0.003**						
Monsp	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**					
Turco	0.003**	0.003**	0.003**	0.014*	0.115				
Hisp	0.003**	0.003**	0.010*	1	0.010*	0.003**			
Kahen	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.061		
Opa	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**	0.003**

*Note : *(Pr < .05) **(Pr < .01)*

1-3-6 EXAMINATION DES VALEURS SELON LA DISTRIBUTION « F » DE FISHER :

La signification par P. value « Pr. » n’est pas le seul outil applicable pour lire les résultats d’une PERMANOVA mais il faut aussi faire une révision au taux de variabilité conduits par les valeurs « F » de Fisher qui sont induit par le même teste statistique.

Le concept de lire les valeurs « F » de Fisher est presque le même des distances de Mahalanobis sauf que l’interprétation se change un peu, et c’est dû à la nature différente des calculs mathématique derrière ces deux fameuses méthodes.

Les valeurs de Fisher ont été calculé à la base de la formule mathématique de la variance donc il est très logique de considérer ces derniers étant des unités de différenciation ou des variances.

Tableau 7 : Valeurs F. de Fisher lors de la MANOVA

	Algeria	Camp	Cinr	Iber	Monsp	Turco	Hisp	Kahen
Camp	310.5							
Cinr	107	116.5						
Iber	41.27	66.85	14.06					
Monsp	103.8	204.9	23.1	7.307				
Turco	76.22	173.4	30.78	5.226	4.124*			
Hisp	16.41	14.84	5.854	2.543*	6.489	5.949		
Kahen	199.6	111.3	159.9	131.3	151.6	156.6	45.54*	
Opa	166.8	32.33	55.19	43.67	91.08	90.83	8.591	92.82

** : des valeurs de Probabilité non significatives (Pr > 0.05) donc non-interprétable*

Contrairement aux distances de Mahalanobis, Les faible Valeurs « F » de Fisher peuvent indiquer une faible variabilité donc une faible signification statistique en termes de probabilité (P.value > 0.05) alors que les grandes valeurs de « F » indique une grande variabilité ce qui provoque une signification importante entre les groupes étudié.

L’autre différence est que les valeurs « F » ont été calculé à partir d’un teste statistique basé sur deux hypothèses, Nulle « H0 » et Alternative « H1 » alors que les

valeurs de Mahalanobis ont été calculée directement partir d'une formule mathématique, et c'est parmi la beauté et la robustesse des statistiques dont on applique deux types d'analyses qui sont complètement différent sur le plan et le concept mais qui nous propose presque le même résultat.

Ici on propose un barème pour évaluer la variabilité entre les feuilles de chaque taxon :

- *Moins de 10 Unités de Fisher on considère que la variabilité entre les populations d'Erable est faible (ressemblance).*
- *De 10 vers ~40 unités on considère que la variabilité médiocre entre les populations d'Erable.*
- *De 40 à 100 Unités de Fisher on considère que la variabilité est importante lors de la composition des populations*
- *Plus de 100 Unités de Fisher on considère que la variabilité est extrêmement grande donc les populations sont très différentes sur le plan statistique.*

Selon le tableau les valeurs « F » produites par la PERMANOVA montrent des valeurs F élevées ($F > 100$) entre plusieurs groupes. *Acer monspessulanum* algérien contre *Acer campestre* révèle une valeur « F » égale à 310,5, *Acer kahenae* 199,6 et Eurasia 103,8, ces valeurs indiquent une forte dissemblance de forme entre l'algérien et les taxons mentionnés.

1-4 DISCRIMINATION AU NIVEAU DES SOU-ESPECES :

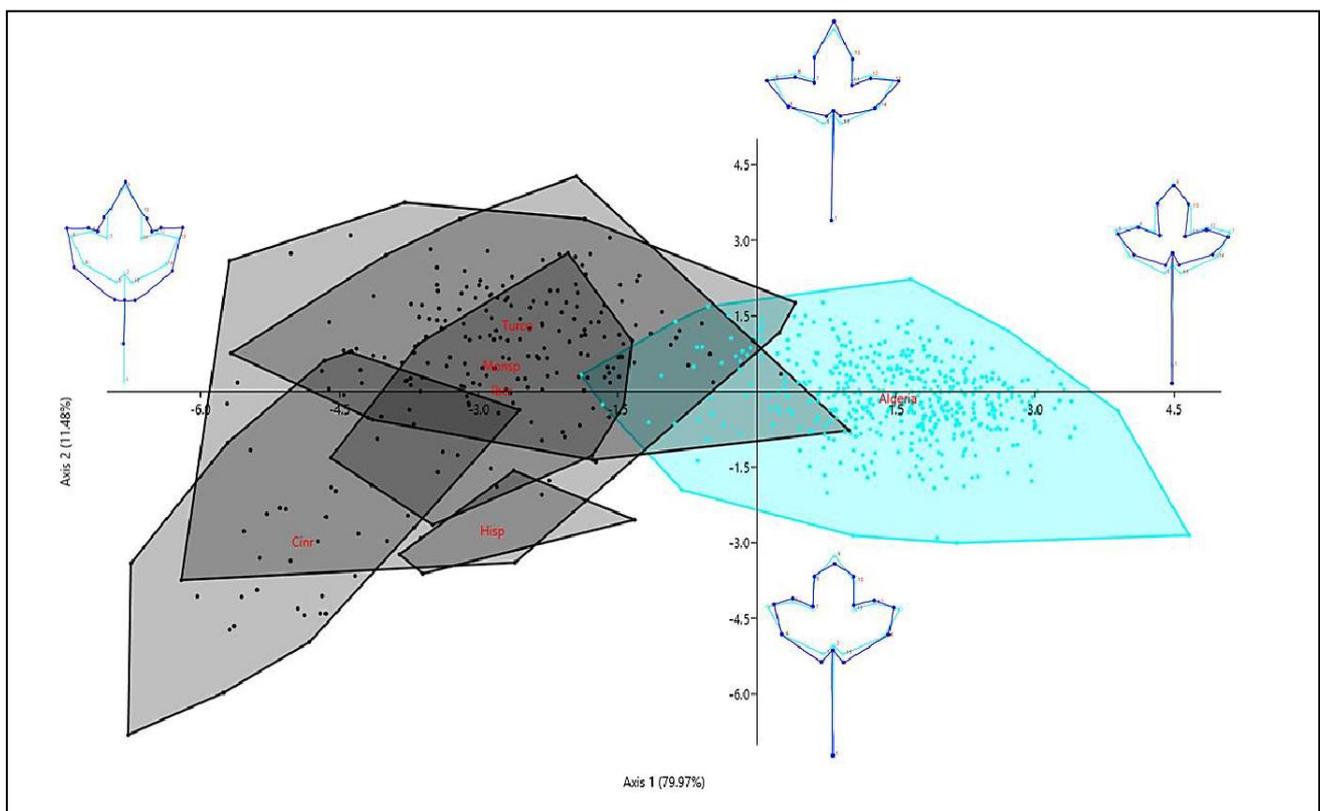
L'analyse discriminante menée sur 732 feuilles représentant uniquement l'Erable de Montpellier *Acer monspessulanum* et ses sous-espèces a produit 4 axes avec des Eigenvalues supérieurs à 1 (Condition de vérification). Le premier axe (Axe1) représente 79,97% de la variation majeure suivi par le second qui représente 11,48%, donc un de totale 91.46% d'information est résumé sur les deux premiers axes.

Une matrice de confusion a révélé 84,43 % de feuilles correctement classées (88,93 % sans Jackknifing), ce qui est apte pour une interprétation statistique (Model significative). Cette analyse est considérée étant un agrandissement qui focus principalement le groupe B de l'analyse discriminante précédente (Discrimination à

l'échelle Globale) cette dernière a pris plusieurs taxons à la fois. Donc la proposition derrière cette analyse multivariée est de sacrifier de nombre d'échantillons et des taxons facultatifs pour augmenter la précision de model consacré à l'étude des populations d'*Acer monspessulanum*.

1-4-1 REVELATION PAR LE MODEL LDA :

La première remarque lors de cette analyse multivariée est que le nuage des points de la LDA montre une séparation très nette des échantillons algériens dominant le score positif de l'axe 1 ce qui construit le Group-1 dans cette analyse, ce groupe varie de [0.0 ; 3.5] Unité d'inertie sans compter les outliers (valeurs aberrantes). Le même model statistique regroupe le reste des taxons d'*Acer monspessulanum* Euroasiatique au côté négative de l'axe1 vers un intervalle de [-5.0 ; 0.0] Unité d'inertie.



L'axe2 principalement a fait la séparation entre *Acer cinerascence* et *Acer hispanicum* sur le côté négative de [-4.5 ; -1.5] Unité d'inertie par rapport aux autres taxon (*Acer turcomanicum*, *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* et *Acer ibericum*) positionné dans un intervalle étroit entre [0 ; 3] Unité d'inertie.

Cette analyse propose les critères suivants :

- L'écotype *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* est très proche sur le profile géométrique d'*Acer turcomanicum* et *Acer ibericum* a ce stage d'analyse.
- *Acer cinerascence* est caractérisé par un limbe large et une base de feuille concave et des pétioles de petite taille.
- La population Algérienne est parfaitement connue par des lobes latéraux asymétriques mais aussi mince et des pétioles considérablement longs

1-4-2 REVELATION PAR LES DISTANCES DE MAHALANOBIS :

Lorsque les distances de Mahalanobis ont été calculées, les valeurs les plus élevées sont apparues entre la population Algerienne d'*Acer monspessulanum* et *Acer cinerascens* 6,93 *Acer hispanicum* 6,55 Unités de Mahalanobis respectivement, ces valeurs statistiques indiquent des grandes différences sur le profile géométrique entre les taxons mentionnés, tandis que les valeurs les plus basses se situaient entre *Acer turcomanicum* et *Acer monspessulanum* subsp. *monspessulanum* 1.77. Suivie par 2.9 pour *Acer ibericum* et *Acer turcomanicum* contre le même écotype *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* ce score indique des ressemblances entre ces sous espèces.

Tableau 8 : Distances de Mahalanobis entre les alliés d'*Acer monspessulanum*.

	Alge	Cinr	Hisp	Iber	Mons
Cinr	6,9307				
Hisp	6,5558	5,6117			
Iber	4,8786	4,6397	5,8518		
Mons	4,3761	4,1466	5,8194	2,9379	
Turc	4,3978	4,9022	5,7789	2,9716	1,7786

1-5 DISCRIMINATION AU NIVEAU POPULATIONEL :

L'Analyse discriminante au niveau populationnel est basée sur 485 feuilles récoltés des sites d'Algérie (Tlemcen, Batna et Khenchla). Le premier et le deuxième des axes expliquaient respectivement 90,5 % et 9,5 % de la variance ce qui est extrêmement précis, sous des Eigenvalues supérieurs à 1 étant une condition de vérification

En ce qui concerne la distribution d'*Acer monspessulanum*, le model statistique a donné un taux égal à 84,12% de classification correcte des feuilles (88,87 % sans jackknifing). Cette analyse a pour objective d'étudier et comprendre l'existence des grandes différences entre les populations d'Algérie, donc examiner la variabilité intra populationnel.

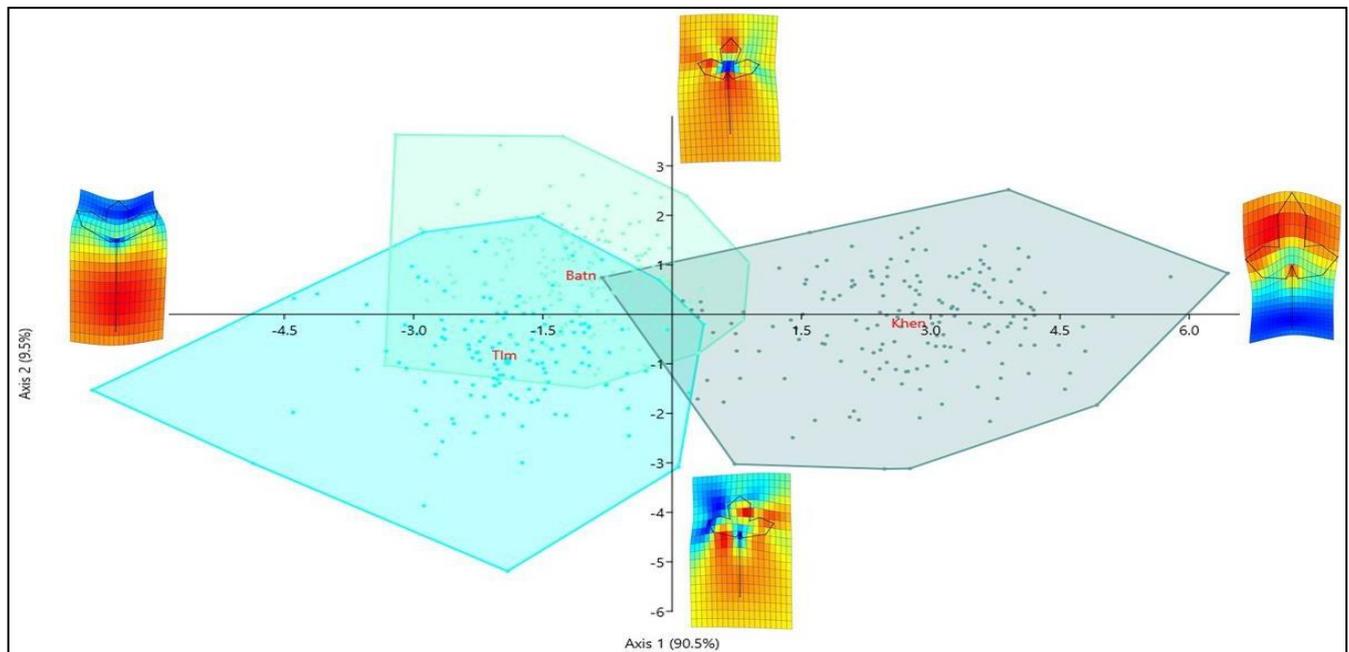


Figure 34 : Une analyse discriminante des échantillons algériens révélant une nette séparation pour les échantillons de Khenchela et que les échantillons de Batna et Tlemcen sont plus proches en forme de feuille.

1-5-1 REVELATION PAR LE MODEL LDA :

Le nuage des points de l'analyse discriminante montre une bonne séparation des échantillons de Khenchla dominant le score positif de selon l'intervalle [0 ; 6] Unités d'inertie alors que le coté négative de la fonction est partagé entre la population de Tlemcen et de Batna selon l'intervalle [-4.5 ; 0.0]

En ce qui concerne l'axe2, elle fait principalement la séparation entre les populations de Batna et de Tlemcen dont la première est opérationnel sous l'intervalle [3.0 ; 0.0] et la deuxième est valide sous l'intervalle [0.0 ; -3.0]

Cette analyse propose les critères suivants :

- Une super imposition entre la population de Tlemcen et de Batna propose que les deux partagent les mêmes performances géométriques
- Le taux d'information proposé par le premier axe est extrêmement important (90.5%) ce qui lui rend plus rentable pour l'interprétation des résultats
- La population de Khenchla est caractérisée par des lobes épais et dispersé radialement alors que la population de Tlemcen et de Batna et assisté par des lobes plus fins mais aussi dévié vers le haut autour de lobe central.

Remarque : à ce stage il n'est pas nécessaire d'investiguer les populations par les distances de Mahalanobis vu qu'on sait parfaitement que les populations appartiennent au même groupe et révèle un taux de ressemblance très important durant les examens précédents

1-5-2 EXAMEN DE TYPE ALL-IN:

Une sous enquête a été mise en évidence en combinant maintenant les deux populations de Tlemcen et Batna dans un seul groupe et faire une projection directe sur la population de Khenchla, le résultat indique un taux de discrimination élevé de 96,9 % (97,9 % sans Jackknifing). Ce qui confirme Toujours une séparation intéressante entre les groupes analysé, d'une autre part, la présence d'une variabilité intra populationnel.

Ce qui est intéressant à ce stade de l'analyse concerne les échantillons algériens, la forte variabilité intraspécifique est rapportée dans la forme, le premier axe entraîne les changements principaux et majeurs le long du limbe foliaire, les angles des lobes latéraux et la largeur du lobe moyen, et même la longueur du pétiole, ces circonstances séparent complètement les spécimens de Khenchla de Batna et Tlemcen, mais le plus surprenant est que Khenchla est très lié à Batna en termes géographiques plutôt qu'à Tlemcen, le deuxième axe contrôle également quelques changements intéressants le long de l'apex des lobes mais certains déformations le

long des lobes latéraux gauches le long de la feuille (Fig X...), qui pourraient être perceptibles lors du processus de repérage

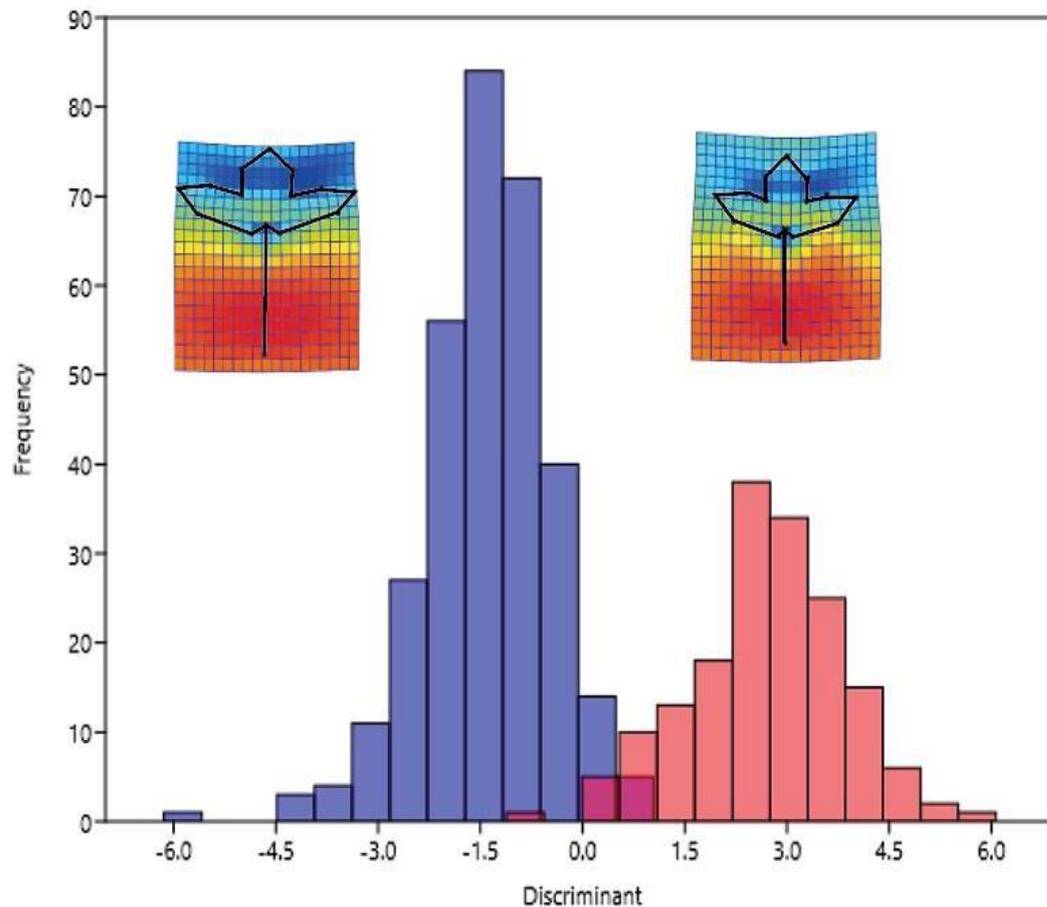


Figure 35 : Une analyse discriminante sépare clairement les échantillons de Khenchela (rose) de ceux de Batna et Tlemcen (bleu).

1-6 PARTITIONNEMENT DES DONNEES PAR LA TECHNIQUE DE (K-MEANS) :

L'objectif principal de partitionnement des données par la technique K-means dans cette étude est d'étudier les variations de formes au sein des récoltes d'Algérie, le justificative de cette intervention est que le model statistique multivariée de la LDA est parfois insuffisant pour conclure si les petits perturbations (Noise) entre les valeurs des échantillons ne propose aucune entité géométrique distingué.

La technique K-means et très sensible aux valeurs qui se varie d'une façon aléatoire ou instable, cette situation est applicable soit à l'échelle des groupes d'observations

(sous la condition de la non-homogénéité de variance) ou principalement à l'échelle individuelle (valeurs atypiques)

La K-means est considéré étant une technique aveugle car elle permet de faire des séparations entre les observations mais elle ne permet pas de détecter le nombre optimal des clusters (Séparations) qui regroupe les observations ou les échantillons, pour cette raison, l'utilisateur est obligé de spécifier et d'optimiser ce nombre par d'autre moyens, à cet égard, nous avons utilisé la méthode de Gap statistique pour avoir une meilleure résolution.

1-6-1 DETECTION DES CLUSTERS PAR LA METHODE GAP-STATISTICS :

La méthode Gap-statistics propose $K=3$ clusters comme initialisation à l'étude de la technique K-means (Fig), généralement là c'est la méthode la plus efficace utilisée dans le partitionnement des données, dans Notre cas nous avons utilisé le package "Cluster" dans R (Citation), selon un enchainement aléatoire fixé à une série de 1-2-3 (Seed Generatore) ce qui stabilise les résultats, par l'addition de 2 centroïdes aléatoires pour l'initialisation des opérations mathématiques et une simulation de 1000 « Monte-Carlo » bootstrappes, le résultat est imprimé selon la méthode « firstmax ».

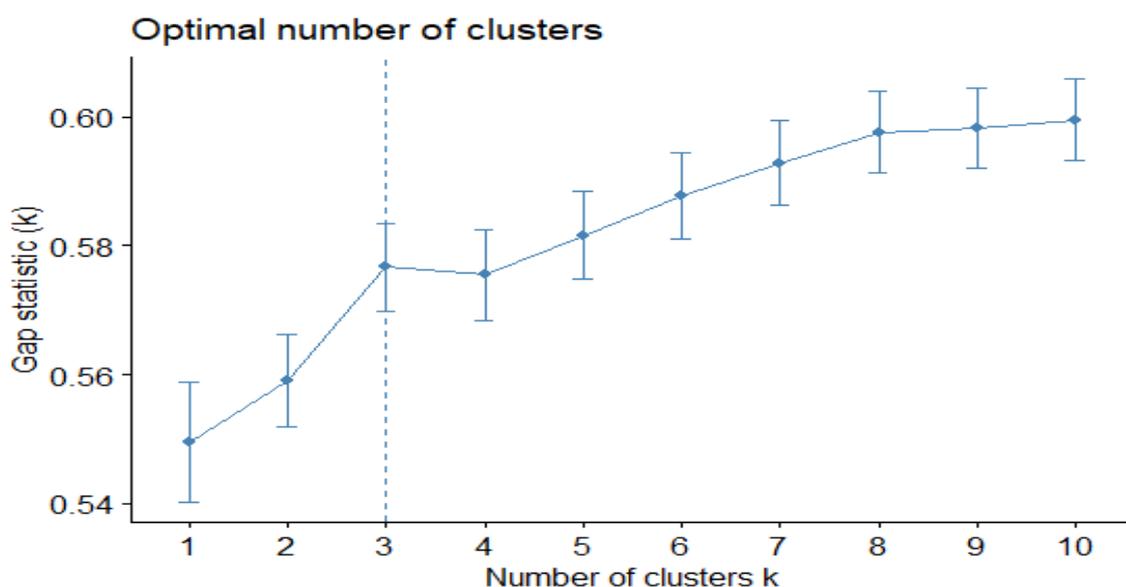


Figure 36 : Détection de nombre optimal des clusters par la méthode de Gap-Stat

1-6-2 RESULTAT DE LA TECHNIQUE K-MEANS :

Lorsque les trois groupes ont été testés en analyse discriminante, la fonction a donné 96,5 % correctement classés (92,37 % en Jackknifing). Une matrice des distances de Mahalanobis a donné la plus grande distance de 5,92 entre les groupes 1 et 2, tandis que la distance la plus proche était de 3,03 entre les groupes 2 et 3

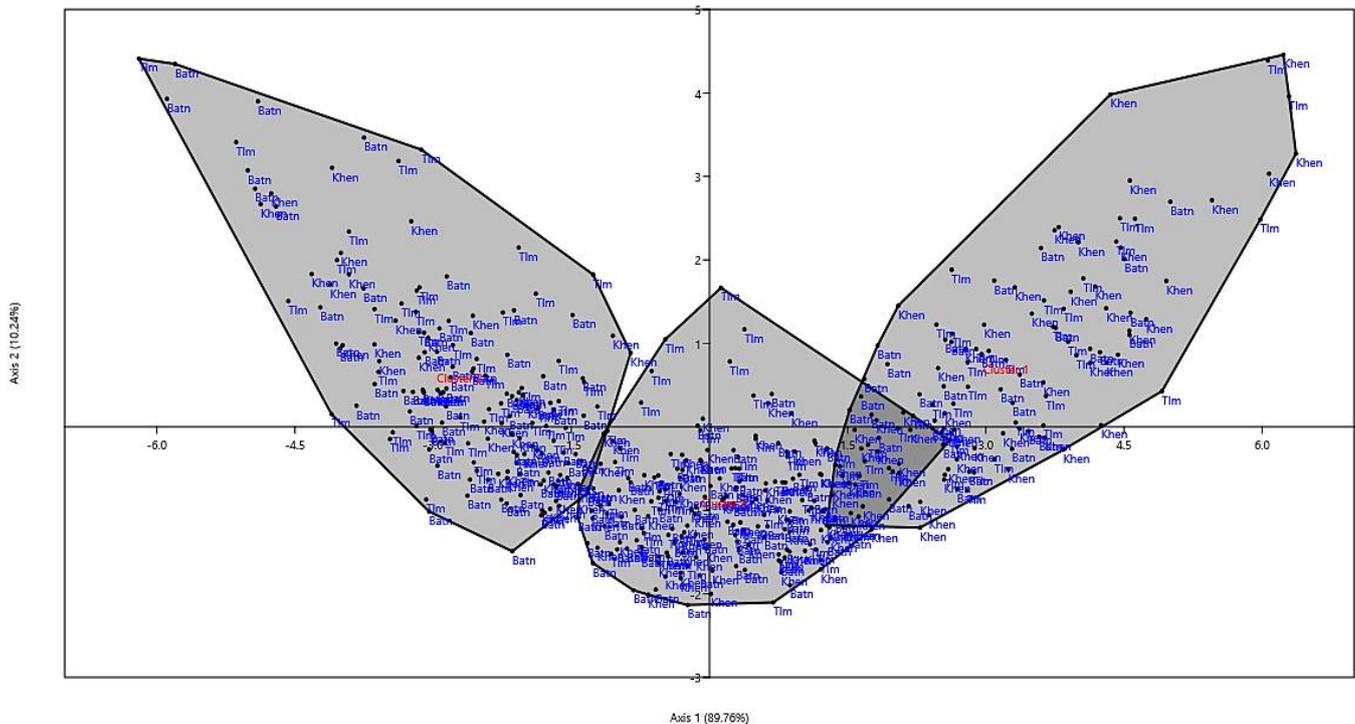


Figure 37 : Représentation graphique de la discrimination par la technique des K-means

Le résultat de la K-means est très hétérogène donc il est carrément difficile de distinguer un groupe spécifique des observations néanmoins les distances de Mahalanobis ne propose aucune grande dissimilarité entre les groupes générés par la méthode gap-stat et donc carrément il faut dire que le résultat de la K-means n'as pas pu trouver une entité distinguée dans le jeu de données analysé.

La fonction discriminante décrit un changement de forme à partir d'une feuille convexe à faible score avec un large lobe médian, vers le bas lobes latéraux et pétioles courts à feuille concave à score élevé avec un lobe moyen étroit et des lobes latéraux ascendants, de longs pétioles sont également signalés pour cette section de la fonction, dans le même contraste, il n'y a pas de changement de forme intéressant selon l'Axe 2. Enfin il faut dire que Les variations de feuilles mentionnées sont considérées comme des caractéristiques clés pour séparer les groupes de feuilles

Donc à ce stage il n'est pas important de rentrer a plus de détails en matière statistique produit

Remarque : les termes sont anglais car il est très difficile de les traduit en France donc il est préférable de les garder en ce sens pour faciliter les recherches aux lecteurs

1-6-3 SCRIPTING SUR LE LANGUAGE R :

```
# Loading Data :
```

```
library(factoextra)
```

```
library(readxl)
```

```
MapleKmeans <- read_excel("C:/Renamed Species Data.xlsx")
```

```
View(MapleKmeans)
```

```
# Preparing Data:
```

```
attach(MapleKmeans)
```

```
newdata <- data.frame(MapleKmeans[-c(1:4,6)])
```

```
rownames(newdata) <- make.names(Region , unique=TRUE)
```

```
df <- newdata[,-1]
```

```
View(df)
```

```
# Determining and Visualizing the Optimal Number of Clusters :
```

```
# Silhouette Method
```

```
fviz_nbclust(df, kmeans, method = "silhouette")
```

```
#Elbow method :
```

```
fviz_nbclust(df, kmeans, method = "wss") + geom_vline(xintercept = 2, linetype = 2)
```

```
#Gap statistic:
```

```
library(cluster)
```

```
set.seed(123)
```

```
gap_stat <- clusGap(df, FUN = kmeans, nstart = 2 , K.max = 10 , B = 1000)
```

```
print(gap_stat, method = "firstmax")

fviz_gap_stat(gap_stat)

# Full K-means at Bootstrap=1000 , initial random centroides (nstart)=2 , Number of
clusters (k)=3:

set.seed(123)

res.km <- eclust(df, "kmeans", nboot = 1000 , nstart=2 , graph=T , k.max=10 , k=3 )

fviz_gap_stat(res.km$gap_stat)

res.km$nbclust

fviz_silhouette(res.km)

res.km

## Saving File see your R working directory generally it is in C:/Documents

library("xlsx")

write.xlsx(res.km$centers, file = "myworkbook3.xlsx", sheetName = "Maple 1",
append = FALSE)

write.xlsx(res.km$cluster, file = "k2 average silhouette .xlsx", sheetName = "Maple",
append = FALSE)
```

2-CAS D'ERABLE DE NORVEGE (*ACER PLATANOIDES*) :

2-1 INTRODUCTION :

L'examen statistique des populations d'Erable de Norvège (*Acer platanoides*) à garder toujours la même conception d'analyses géométrique mais sous l'intégration de quelques modifications par rapport à la première qu'elle été basée sur les feuilles d'Erable de Montpellier (*Acer monspessulanum*), deux taxons uniquement ont été considéré pour l'étude menée (*Acer platanoides* L.) et (*Acer platanoides* subsp *turcomanicum*) et 303 feuilles ont été étudié après le filtrage des valeurs aberrantes.

L'objective de cette analyse reste toujours pour comparer néanmoins investiguer la diversité phénotypique par la considération de plusieurs outils statistiques,

notamment les statistiques multivariées, ces derniers ont pour objective de détecter les variations entre les populations d'érable et construire un plan de discrimination entre les taxons étudié.

Remarque : aucune perpendiculation a été utilisé dans cette analyse (interoentions des autres espèces comme Acer campestre et Acer opalus dans le cas précédent)

Cette analyse comprend :

Une phase des tendance globales : qui s'intéresse à l'analyse des formes des feuilles néanmoins explorer la relation entre la taille et la forme.

Une phase descriptive qui s'adresse directement à l'analyse de taille des feuilles par les moyens classiques comme les minimas les maximas les médianes les variances et les écart-types, en suppléments un test d'ANOVA a été mis en évidence pour comparer les moyennes des groupes d'appartenances.

Une phase de discrimination basé sur le test multivarié de la MANOVA deux indices ont été calculé (Lambda de Wilks) et (la Trace de Pillai), cette phase à considérer d'intégrer une MANOVA au lieux de mètre une PERMANOVA, l'objective de ce changement a pour le but de prouver que les deux testes propose deux types de performances statistique mais génère presque le même résultats dans un cas ou les effectives sont larges (+800 observations cas d'Erable de Montpellier et 303 dans le cas d'Erable de Norvège)

Une phase de partitionnement des données avec une intégration de deux nouvelles méthodes pour le calcul de nombre optimal de clusters lors de la K-mean qui sont la technique Elbow (coud statistique) et la technique des silhouettes sinon une Révélation des résultats de K-means a l'aide des histogramme groupés.

Finalement il faut dire que l'important est toujours d'assimiler plusieurs outils statistiques pour recevoir des résultats interprétables et crédible néanmoins défendre un point de vue par des arguments statistiques

2-2 TENDANCES GLOBALES DE LA FORME :

l'examen des tendances globales de la forme a été basé sur une Analyse en composante principale (ACP) et des données geometriques de 303 feuilled d'Erable

de Norvege (*Acer platanoides*) La majeure partie de la variance de l'ACP est expliquée par les deux premières composantes, dont PC1 mène la valeur d'inertie la plus élevée de 44,56 % suivi de PC2 expliquant une inertie de 8,92% (53,48% au total), généralement on considère que l'ACP est valide lorsque les deux premières composantes dépassent 50% d'inertie, la première composante propose au minimum trois critères différent :

- 1- C'est qu'elle contrôle la largeur du lobe centrale et les deux lobes latéraux.
- 2- C'est qu'elle contrôle la direction des lobes latéraux supérieurs soit vers le haut soit vers le bas, sinon l'élévation des lobes latéraux inférieurs.
- 3- Elle contrôle aussi la contraction des lobes et des dents inférieurs.

La deuxième composante propose au minimum deux critères suivants :

- 1- L'exposition des lobes latéraux au angle ouverts est importante
- 2- Contractions vers la partie superieur de la feuille (complexe lobe centrale - lobes laterales)

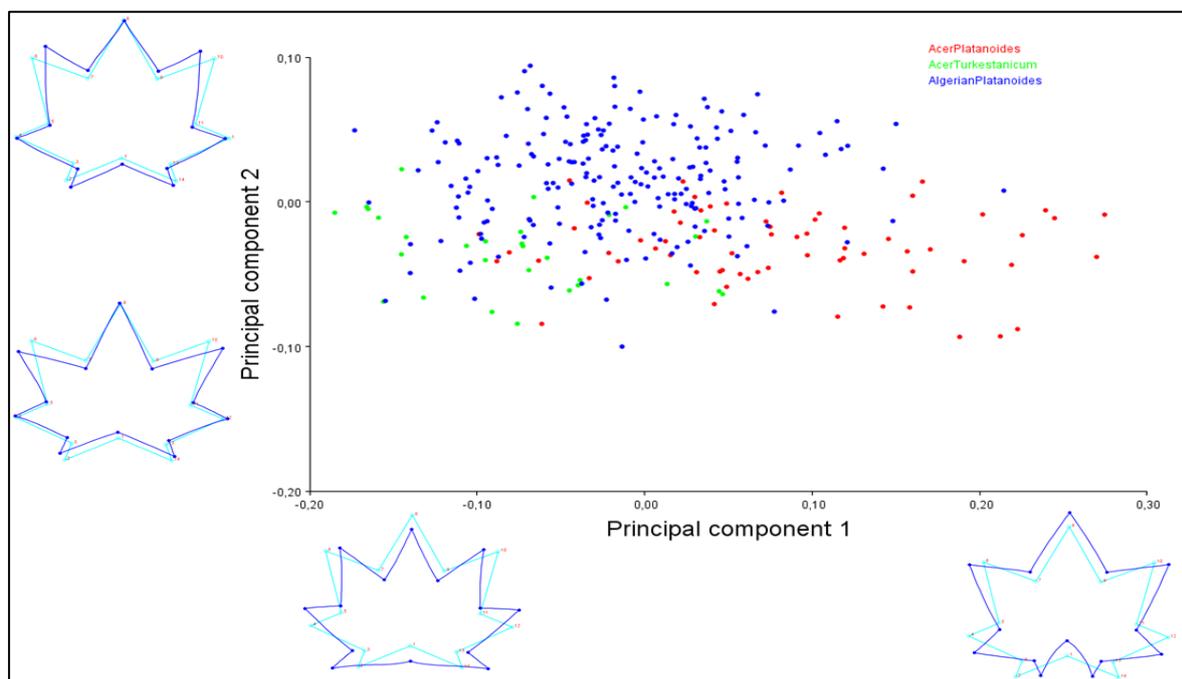


Figure 38 : Analyse en composantes principales de 303 feuilles d'*Acer platanoides*, ici l'*Acer platanoides* d'Algérie apparaît en (bleu), l'*Acer platanoides* d'Europe apparaît en (rouge) et l'*Acer platanoides* Asiatique apparaît en (vert)

Remarque : l'analyse a carément éliminer l'intervention de la pétiole vue qu'elle provoque des perturbations importantes lors de l'analyse statistique.

Même si l'ACP n'est pas considéré étant un outil de discrimination à ce stade d'analyse, elle propose trois groupes clairement distingués selon la figure (), la façon de lire est toujours du côté négatif vers le côté positif, les variations au niveau des feuilles sont mises en évidence par la technique de fragmentation des intervalles d'inertie selon l'axe des "X", alors que :

De [-0.2 vers 0.05 unité d'inertie] : La population dominante est l'Asiatique (*Acer platanoide subsp turkistanicum*) et les caractères signalés sont des lobes homogènes avec une base de feuilles plate (Forme de Couronne), un parallélisme est clairement signalé entre les lobes latéraux ; globalement les lobes sont considérés comme la moindre taille.

De [0.05 vers 0.3 unité d'inertie] : La population d'Erable continental est la plus dominante (*Acer platanoide*), les caractères signalés sont des lobes très développés néanmoins positionnés dans des directions éloignées (Forme Etoile), les dents inférieures composent un angle inversement très étroit d'environ 60° globalement les lobes sont considérés comme les plus grands lors de l'analyse.

En ce qui concerne la deuxième composante principale (PC2), elle contrôle directement les liens entre les lobes latéraux et leurs divisions, selon la technique de fragmentation des intervalles il est clair que :

De [-0.1 vers 0.0 unité d'inertie] : La population dominante est l'Asiatique (*Acer platanoide subsp turkistanicum*) et les caractères signalés sont des lobes latéraux hétérogènes positionnés radialement avec un angle ouvert néanmoins un lobe central bien développé, la partie basale de la feuille est clairement contractée mais la différence principale se situe dans l'angle ouvert au niveau des dents inférieures qui peut atteindre presque 100° ; globalement on considère que la feuille est d'une forme palmée.

De [0.0 vers 0.1 unité d'inertie] : La population dominante est l'Algérienne (*Acer platanoides*) et parmi les caractères signalés on a une partie supérieure de la feuille contractée, des lobes latéraux nivelés dans la même direction du lobe moyen également avec un angle ouvert au niveau des dents inférieures ; globalement la feuille est considéré très asymétrique.

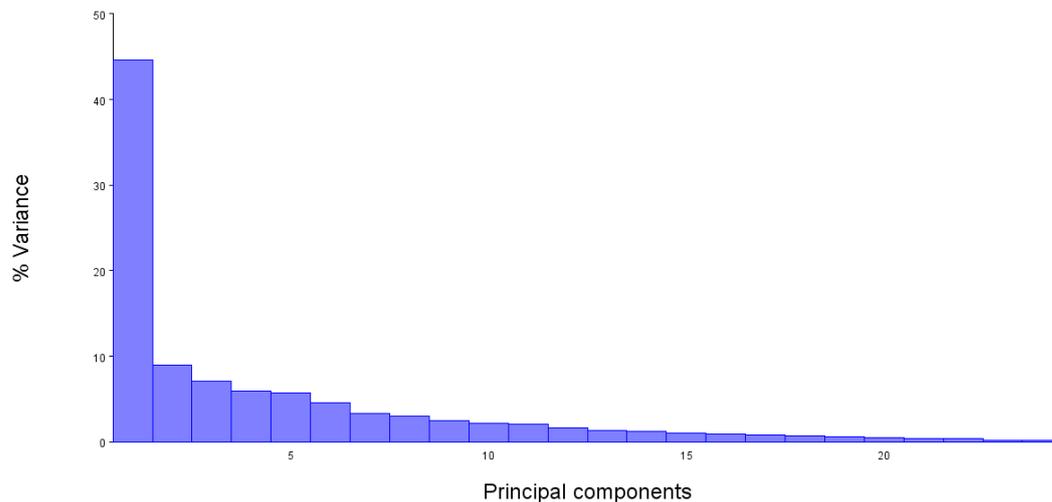


Figure 39 : Révélation des composantes ayant la plus grande contribution lors de la réalisation de l'ACP géométrique, ici 2 composantes majeurs ont été proposé étant les plus importants (PC1 et PC2)

La relation entre la forme et la taille a été testée par une régression linéaire simple (Figure 5), cette dernière montre une corrélation très significative $<0,001$ mais aussi négative $r = (-0,18)$ entre les deux paramètres étudiés, et donc systématiquement montre un coefficient de détermination très faible $r^2 = (0,033)$, les résultats rapportés indiquent de légers changements de forme au cours de la diminution de la taille, par conséquent, les coefficients de corrélation restent faibles et ne nous permettent pas de confirmer une relation forte entre la forme et la taille.

Selon le model statistique de la régression, *Acer platanoides ssp turketanicum* est apparu avec une taille considérablement plus petite par rapport à l'*Acer platanoides* d'Algérie et l'*Acer platanoides* Européen. Même si les deux derniers sont apparus avec des formes et des formes très hétérogènes, mais il est à noter que l'*Acer platanoides* Algérien gagne plus de taille par rapport au l'*Acer platanoides* Européen.

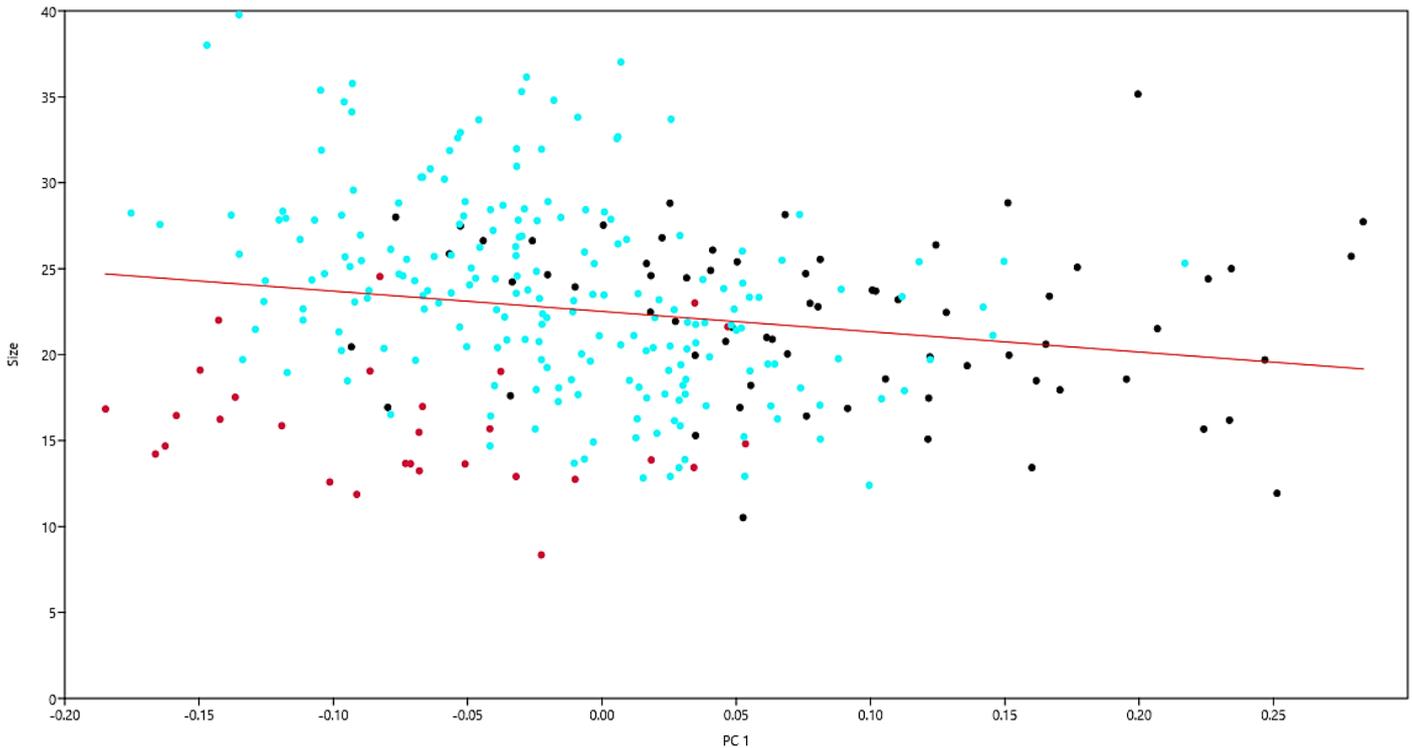


Figure 40 : régression linéaire des données de forme et de taille basée sur trois collections de feuilles d'*Acer platanoides*, ici l'*Acer platanoides* algérien est apparu en (Bleu), l'*Acer platanoides* européen en (Noir) et l'*Acer platanoides* asiatique ssp *turkestanicum* en (Rouge)

2-3 ANALYSE DE LA TAILLE DES FEUILLES

L'analyse descriptive de la taille montrent que les populations soit Algérienne soit Européen d'*Acer platanoides* sont très proches en termes de taille (tableau 2) puisque les deux populations atteignent une moyenne de 23,57 et 22,09, une médiane de 23,33 et 22,63 et un écart type de 5,53 et 4,57 respectivement, alors que *Acer platanoides* ssp *turkestanicum* est apparu très différent de ces populations avec des valeurs considérablement inférieures, l'analyse de variance n'a montré aucune différence significative entre *Acer platanoides* d'Algérie et *Acer platanoides* d'Européen mais une différence très significative en ce qui concerne *Acer platanoides* ssp. *turkestanicum*

Tableau 9 : Statistiques descriptives et valeurs de p de l'ANOVA à un facteur basé sur la taille du centroïde des feuilles (cz)

Population	N*	Min	Max	Moyenne	Median	Variance	Ecart- type	Erreur Std	P.value Globale	Signification PostHoc **
Algerie	206	12.40	39.78	23.57	23.33	30.66	5.53	0.38		Non-Sig
Europe***	68	10.51	35.16	22.09	22.63	20.96	4.57	0.55	< 0.001	Non-Sig
Asie	29	8.35	24.54	15.97	15.48	13.26	3.64	0.67		Significative

* : Nombre de feuilles selon chaque population.

** : La signification post hoc a été calculée selon les coefficients de Bonferroni.

*** : Les pays européens participants étaient l'Angleterre, la Suède, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Norvège et la Suisse

2-4 DISCRIMINATION DE FORME A L'AIDE DE MANOVA :

L'analyse multivariée de la variance MANOVA est un teste paramétrique basée sur les données de forme, elle a fourni une probabilité globale très significative P.value <0,001, une trace de Pillai de 1,108, ce qui indique la bonne contribution des données de repère appliquées au test (Pillai 1955), de plus, un coefficient Lambda Wilks égale a 0,19, ce dernier qui indique des variations statistiques importantes entre les groupes de taxons (Shi 2019), la correction de Bonferroni a également fourni des probabilités significatives très élevées entre les groupes testés et indique une nette discrimination entre les populations étudiées.

En supplément a la MANOVA une matrice des distances de Mahalanobis a été calculé, les valeurs les plus élevées ont été signalées entre *Acer platanoides* d'Algérie et *Acer platanoides ssp turkestanicum* donnant une valeur de 16,74, cette valeur sert a une grande différence entre ces deux populations, le même processus été suivie de 13,92 entre *Acer platanoides* d'Europe et *Acer platanoides ssp turkestanicum* tandis que la distance la plus faible était de 8,01 entre les *Acer platanoides* algériens et les *Acer platanoides* européens, les résultats montrent la nette séparation des *Acer platanoides ssp turkestanicum* des autres taxons, alors que les *Acer platanoides* algériens et européens restent très proches en termes de forme.

Tableau 10 : Résultats de MANOVA selon les trois populations étudiées

Taxons	Distances Mahalanobis	Correction Bonferroni	Lambda Wilk's	Pillai trace	P value
<i>A. platanoides ssp turkestanicum</i> – Algerian <i>A. platanoides</i>	16.74	<0.0001			
<i>A. platanoides ssp turkestanicum</i> – European <i>A. platanoides</i>	13.92	<0.0001	0.192*	1.108*	<0.001*
Algerian <i>A. platanoides</i> – European <i>A. platanoides</i>	8.01	<0.0001			

* Désignée pour l'analyse entière (valeurs globales)

Selon (Ateş et al. 2019) la valeur statistique « Pillai Trace » donne des résultats plus robustes que les autres statistiques de test lorsqu'elle s'éloigne de la distribution normale et que l'homogénéité des matrices de covariance n'est pas atteinte

Remarque :

Vue que les taxons a comparer sont uniquement 3 dont il nest pas nécessaire de reproduire les tableaux en ce qui concerne les distances de mahalanobis et les p.vlaues de bonferroni.

2-5 KMEANS CLUSTERRING :

Lors de l'analyse les deux méthodes Elbow et Silhouette ont proposé un nombre optimal de clusters égal à k=2 (Figure 6), le nuage de points des Kmeans a révélé deux groupes principaux avec une composition foliaire très hétérogène, la première dimension fournie et une inertie de 33,7% Alors que la deuxième dimension fournissait une inertie de 13,5% (47,2% au total)

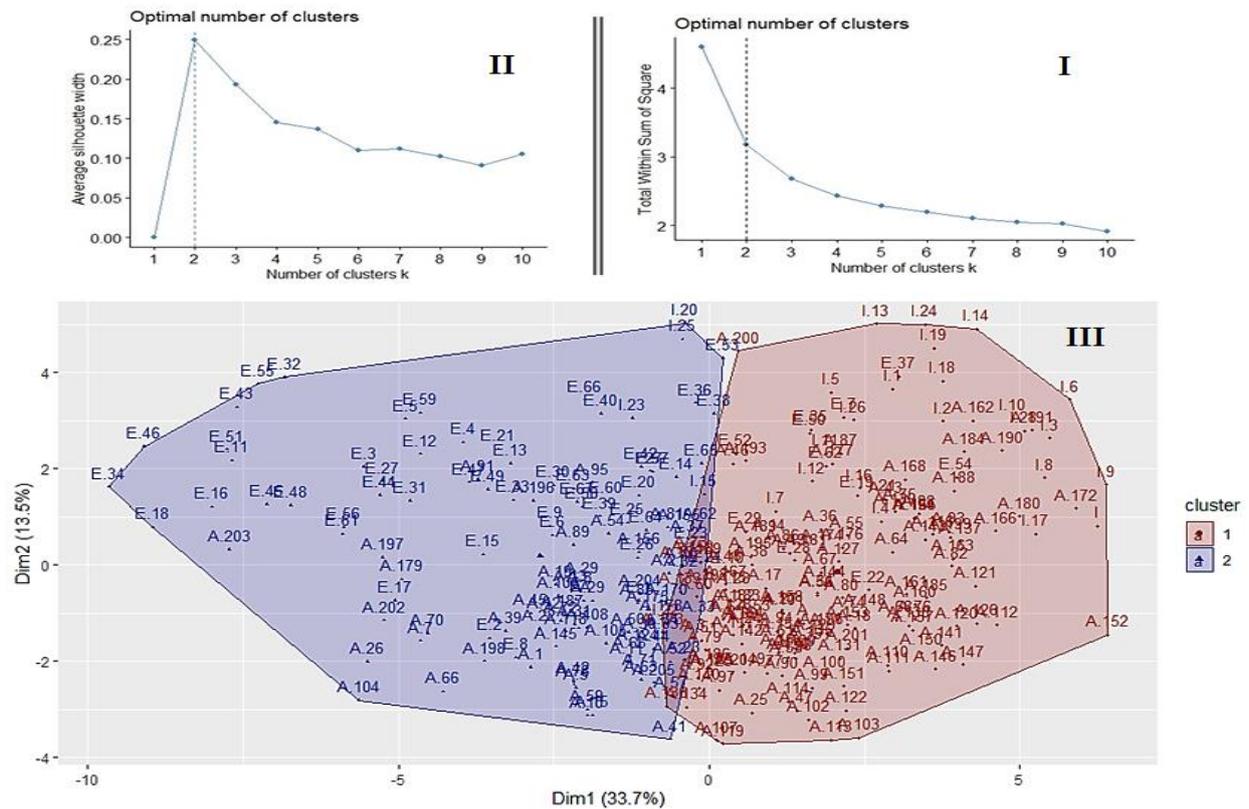


Figure 41 : Kmeans clustering révélant 2 clusters selon les méthodes du coude "(I)" et de la silhouette "(II)", dans le nuage de points "(III)", l'Acer platanoides algérien apparaît avec l'abréviation "A", l'Acer platanoides européen apparaît avec l'abréviation "E" tandis que "I" signifie iranien A. platanoides ssp turkestanicum

Kmeans dépendait de 1000 permutations, de plus, 2 centroïdes aléatoires initiaux ont été définis au début de l'analyse, la fonction ne révèle aucun groupe spécifique ou distinct de feuilles (Figure 7) cependant le premier groupe semble dominé avec 136 feuilles d'Acer platanoides algérien suivie par 24 Iranien Acer platanoides ssp turkestanicum et viennent enfin l'Européen Acer platanoides avec seulement 12 feuilles, par contre le deuxième groupe semble équilibré avec l'Algérien Acer platanoides et l'Européen *Acer platanoides* avec respectivement 70 à 56 feuilles recensées et seulement 5 feuilles d'Acer platanoides ssp turkestanicum.

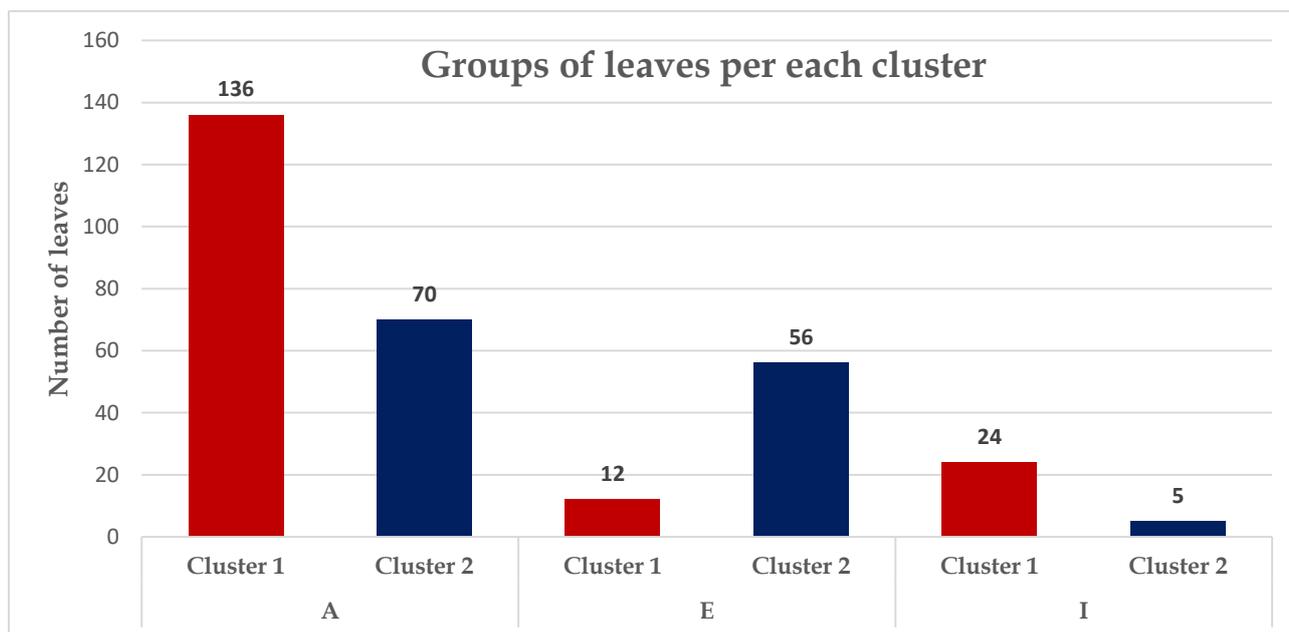


Figure 42 : répartition des feuilles selon chaque cluster, *Acer platanoides* algérien apparaît avec l'abréviation « A », *Acer platanoides* européen apparaît avec l'abréviation « E » tandis que « I » signifie Iranien *A. platanoides* ssp *turkestanicum*, Cluster1 (Rouge) est représenté par 172 feuilles tandis que Cluster2 (Bleu) est représenté par 131 feuilles.

3-DISSCUSSION DES RESULTATS :

3-1 EVALUATION DES POPULATIONS D'ERABLE DE MONTPELLIER :

En récapitulant la question initiale pour savoir si les variations phénotypiques sont perceptibles entre les populations Algériennes, Asiatiques et Européennes d'*Acer monspessulanum*, les données révèlent des différences à plusieurs niveaux taxonomiques. Dans un premier temps, l'ensemble de données durant l'analyse globale, comprenant différentes espèces, populations et plusieurs zones géographiques, a été soumis à un examen de discrimination. Les résultats ont révélé que cette méthode pouvait clairement discriminer entre les espèces assez éloignées comme *Acer opalus* et *Acer campestre*, bien que les deux espèces aient des feuilles aux formes parfois similaires à *Acer monspessulanum*.

A un niveau taxonomique inférieur, la population Algérienne diffère fortement des échantillons Eurasiens. Bien que l'ACP ne soit pas un outil d'analyse de discrimination, mais plutôt une méthode pour réduire les données multivariées en

quelques composants interprétables, les résultats présentés à la suggèrent clairement un type de forme discernable des échantillons Algériens. Lorsque les données des alliés d'*Acer monspessulanum* ont été soumises à une analyse discriminante, les échantillons algériens se distinguaient clairement des échantillons restants. Sans surprise, les échantillons les plus similaires d'Algerie ont été trouvés dans le groupe d'échantillons d'Erable continentale *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* (tableau 4) mais aussi les échantillons géographiquement éloignés comme *Acer monspessulanum* subsp *turcomanicum*. La variation de forme de ces deux dernières espèces n'est pas assez grande et le chevauchement des échantillons avec la population algérienne peut s'expliquer à la fois par la plasticité phénotypique et la parenté génétique, après tout ils appartiennent à la même espèce.

Au niveau populationnel, l'analyse de discrimination a clairement séparé les échantillons de Khenchela de Batna et Tlemcen (Fig. 8 et 9). Ceci est particulièrement intrigant puisque Khenchela et Batna sont les deux localités les plus proches (86 kilomètres l'une de l'autre) et Tlemcen la plus éloignée (687 kilomètres) (Fig. 1). L'objectif et les méthodes de cette étude ne permettent pas d'analyser pourquoi les deux populations éloignées sont plus similaires que les deux proches. On peut supposer que la dispersion sur de longues distances peut être impliquée, ou que les circonstances environnementales sont plus similaires. Essentiellement, la forme de la feuille représente un caractère phénotypique plutôt qu'une parenté génétique.

Sur la deuxième question, si les méthodes de morphométrie géométrique pouvaient s'avérer efficaces pour distinguer tout nouveau taxon intraspécifique d'*Acer monspessulanum* à un stade précoce d'une enquête taxonomique, l'interprétation des résultats apparaît prometteuse. Bien que le travail taxonomique nécessite des données morphologiques plutôt que morphométriques, la séparation claire des échantillons de Khenchela peut indiquer une population digne d'une enquête plus approfondie. Les résultats morphométriques peuvent contribuer à une meilleure compréhension de la diversité d'*Acer monspessulanum* neanmoins associés aux preuves morphologiques et révéler si des unités taxonomiques distinctes sont présentes dans les populations algériennes.

L'ACP et la LDA des données de forme globale révèlent que les échantillons algériens ont généralement des lobes plus étroits et des lobes latéraux dirigés à angle droit contrairement au lobe médian (Centrale). Cependant, les échantillons Eurasiatiques apparait avec des tendances vers des lobes plus larges et plus courts sinon indique des lobes latéraux dirigés vers le haut. Pour les échantillons algériens, Khenchela diffèrait considérablement des deux autres populations. Les feuilles des échantillons de Khenchela ont tendance à avoir un angle aigu à la base des feuilles entre les lobes latéraux, quand les autres ont un angle obtus et des feuilles généralement plus larges.

Le résultat de la régression linéaire indique que les données de forme et de taille sont étroitement corrélées, et donc la plasticité phénotypique peut avoir un impact sur les résultats et la variation décrite par les premières composantes principales. Même si une corrélation entre la taille et la forme est attendue pour les premiers PC, une telle corrélation n'était pas évidente pour *A. campestre* dans le sud de la Suède (**Wahlsteen 2021**), ce qui suggère que les premiers PC:S ne sont pas toujours influencés par la taille.

La K-mean assure que le regroupement des échantillons algériens n'a révélé aucun groupe distinct, mais plutôt un gradient de forme uniforme des échantillons. Le résultat montre que les échantillons sont similaires et que certains types de formes ne peuvent être distingués parmi les populations algériennes.

Dans ce travail, nous avons essayé d'utiliser les données de forme et de taille des feuilles avec une collection de statistiques multivariées afin de déterminer une considération précise pour les groupes d'*Acer monspessulanum*, y compris les populations algériennes, la plupart des résultats confirment l'isolement de l'*Acer monspessulanum* algérien des autres taxons, et cela nous encourage à croire vraiment à la présence de nouvelles sous-espèces d'érable en Afrique du Nord. A ce stade, une investigation basée sur l'analyse génétique à l'aide de marqueurs moléculaires sur les érables d'Afrique du Nord est fortement recommandée et pourrait mieux évaluer nos connaissances sur les érables d'Afrique du Nord. Nous recommandons fortement pour toute autre étude couvrant de nouvelles zones géographiques, y compris le Maroc et la Tunisie, car ces terres sont très similaires à la géographie algérienne et de

nombreuses localités ne sont pas encore parfaitement explorées, intégrant davantage de descripteurs morphologiques et écologiques comme l'altitude et l'exposition au soleil qui pourrait également fournir des informations précieuses.

3-2 EVALUATION DES POPULATIONS D'ÉRABLE DE NORVEGE :

La valeur de ce travail ne réside pas seulement dans son contenu en tant que document de recherche qui traite des érables d'Afrique du Nord, mais comme l'un des rares articles qui traite de la morphométrie géométrique d'*Acer platanoides*, en attendant, nous pouvons trouver de nombreux manuscrits traitant de la diversité de l'érable, classification et taxonomie, en utilisant différentes méthodes allant du comptage morphométrique géométrique (**Jensen et al. 2002**) sur *Acer rubrum* et *Acer saccharinum* (Kostic et al. 2017) sur *Acer pseudoplatanus*, (**Wahlsteen 2020**) sur *Acer campestre*, à l'analyse moléculaire incluant (**Khademi et al. 2016**) sur *Acer monspessulanum*, (**Lu et al. 2022**), (**Pandey 2005**) et (**Grimm et al. 2007**) sur *Acer pseudoplatanus*

En fait, les données concernant la morphogéométrie d'*Acer platanoides* sont si peu nombreuses, et la raison pourrait dépendre des difficultés techniques qui apparaissent lors de l'étude d'une forme de feuille assez compliquée (**Gavrikova & Ignatyuk 2014**), la méthode morphométrique appliquée dans ce manuscrit pourrait nous donner une idée sur la façon dont l'*Acer platanoides* algérien apparaît en termes de forme et de taille plutôt que de nous fournir une configuration foliaire simple basée sur 14 points de repère pour d'autres études de morphométrie géométrique.

L'analyse statistique dans ce manuscrit a testé la taille des feuilles à l'aide de statistiques descriptives, d'ANOVA et de régression linéaire, les outils mentionnés confirment la plus petite taille d'*Acer platanoides ssp turkestanicum* par contre cela ne nous permet pas de faire la distinction entre l'érable algérien et l'érable européen de Norvège, puisque ce dernier reste indépendant des variations de forme selon les résultats de la régression mais conservé entre les deux populations.

Dans l'étape suivante, nous avons réussi à utiliser l'analyse en composantes principales, un outil multivarié qui traite principalement des formes de feuilles et des tendances en morphométrie géométrique, l'ACP a distingué 3 types différents de

conformation de forme où *Acer platanoides* ssp *turkestanicum* a été clairement remarqué comme étant différent et cela est totalement attendu puisqu'il provient d'une écologie très différente qui s'étend de l'est de l'Iran au centre de l'Afghanistan et d'autres régions voisines, par conséquent, les principales différences de forme ont été signalées entre *Acer platanoides* algérien et européen principalement au niveau des lobes latéraux et des dents inférieures .

La discrimination basée sur les données de forme à l'aide de MANOVA a montré une différence significative entre tous les groupes de taxons étudiés et a fourni une matrice des distances de Mahalanobis au carré où les populations asiatiques et algériennes d'*A. platanoides* apparaissent très différentes, ce qui confirmerait la capacité des outils de discrimination dans la morphométrie géométrique pour distinguer les groupes de taxons en fonction de leurs données de forme.

Le clustering utilisant la méthode Kmeans a fourni un ensemble de 2 clusters optimaux mais il n'a pas réussi à identifier un groupe spécifique de formes ni un groupe de taxons, tout ce que nous pouvons justifier est que le cluster 1 était presque dominé par *Acer platanoides* algérien tandis que le cluster 2 était un hybride des groupes de taxons.

D'après les résultats fournis, la problématique de la différenciation entre les *Acer platanoides* nord-africains et continentaux semble être une question de forme et non de taille puisque cette dernière reste conservée entre les deux populations étudiées d'Europe et d'Algérie, cela soulèverait des hypothèses intéressantes concernant la feuille plasticité phénotypique de cette espèce et ses capacités d'adaptation à différents environnements et climats, il convient de noter que ce n'est pas le premier rapport concernant les comportements de l'érable nord-africain puisqu'une étude la plus récente réalisée par **(Mediouni et al. 2021)** révèle que la forme et la taille de trois populations séparées d'*Acer monspessulanum* algérien a été influencée par les conditions environnementales par rapport aux groupes eurasiens d'*Acer monspessulanum*.

Une expression d'isolement par des phénomènes de distance n'est pas exclue également de la liste des hypothèses alors que nous ne disposons pas d'informations précises concernant la présence des espèces étudiées en Algérie et pour cette raison,

des études concernant la diversité génétique utilisant des marqueurs moléculaires comme les SSR ou Les SNP sont très importants à ce stade car les SSR sont relativement fiables et ne nécessitent pas beaucoup d'efforts ni de coûts (Kvesić et al. 2020). D'autres études devraient également inclure l'analyse statistique des samares en tenant compte du fait que l'anatomie de ce compartiment joue un rôle important et discriminant dans l'identification et l'évaluation des érables du monde

D'après nos prospections de terrain, l'espèce ne montre aucune tendance ou comportement d'envahissement contrairement à son influence en Europe et en Amérique du Nord (**Straigyte & Baliuckas 2015**) et (**Drzewiecka et al. 2019**) d'où l'érable de Norvège dans la forêt de Chréa est maintenant considéré comme une richesse pour l'Algérie et la flore d'Afrique du Nord.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Addar A. 2016. Mise en évidence des processus diachroniques de la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au niveau des massifs du Djurdjura et de Chrea. Alger: University of Science and Technology Houari Boumediene. <http://hdl.handle.net/123456789/5409>

Amini T, Zare H, Alizadeh B. 2016. A revision of *Acer monspessulanum* in Iran; A new subspecies report. *Iran J Bot.* 22(2):121-124. <https://www.magiran.com/paper/1643166/?lang=en>

Aouinti H, Touhami I, Khaldi A. 2020. Seed germination techniques of Montpellier maple (*Acer monspessulanum* L.). Tunisia, Zaghoun: National Research Institute of Rural Engineering, Water and Forestry.

Asadi F, Sharifnia F, Salimpour F, Majd A. 2019. Using micro-morphological fruit characters in resolving some of ambiguities in Iranian *Acer* L. (Sapindaceae) species. *Biodiversitas.* 20(1):297-304.

Atroune F, Chaker S, Djebbar R, Dahmani-Megrerouche M. 2019. Comparative evaluation of phenolics content and antioxidant activity of leaves and branches of field maple (*Acer campestre*) from two populations of Northeastern Algeria. *Analele Univ din Oradea, Fasc Biol.* 26(1):7-13.

Barbero M, Benabid A, Peyre C, Quézel P. 1980. Sur la presence au Maroc de "*Laurus azorica*" (Seub.) Franco. *An del Jardín Botánico Madrid.* 37(2):467-472.

Barbero M, Loisel R, Quézel P. 1992. Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetatio.* 99(1):19-34. <https://doi.org/10.1007/BF00118207>

Blackburn PR, Gass JM, Pinto e Vairo F, Farnham KM, Atwal HK, Macklin S, Klee EW, Atwal PS. 2017. Maple syrup urine disease: Mechanisms and management. *Appl Clin Genet.* 10:57-66.

Bonciu A, Vasilescu A, Dinca V, Petcu SF. 2021. Interfaces obtained by MAPLE for chemical and biosensors applications. *Sensors and Actuators Reports.* 3.

Bonin G. 1994. Quelques aspects des forêts d' Afrique du Nord. *For Méditerranéenne.* 15(1):69-74.

Chikhaoui Z. 2016. Analyse inter-stationnelle et interindividuelle de la morphologie des feuilles d'Erables (*Acer monspessulanum* L. et *Acer obtusatum* W. et K.) au Djurdjura. Tizi-Ouzou: Mouloud Mammeri University. <https://dl.ummtto.dz/handle/ummtto/1649>

Clarke GCS, Jones MR. 1978. Aceraceae. *Rev Palaeobot Palynol.* 26(5):181-193. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003466677890043X>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Crowley D, Rivers M. 2017. *Acer campestre*. IUCN Red List Threat Species :3. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T193523A2241515.en>
- Drzewiecka K, Piechalak A, Goliński P, Gąsecka M, Magdziak Z, Szostek M, Budzyńska S, Niedzielski P, Mleczek M. 2019. Differences of *Acer platanoides* L. and *Tilia cordata* Mill. Response patterns/survival strategies during cultivation in extremely polluted mining sludge - A pot trial. *Chemosphere*. 229:589-601. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653519309476>
- Edgard H. 1991. *L'Année de l'Erable*. Bruxelles: Wallonie.
- Fang W-P. 1966. *Revisio Taxorum Aceracearum Sinicarum*. *J Syst Evol*. 11(2):139-189.
- FAO. 2018. *State of Mediterranean Forests 2018*. :159-160. <http://www.fao.org/docrep/017/i3226e/i3226e.pdf>
- Farrar JL. 1996. *Les arbres du Canada*: Fides. <https://books.google.dz/books?id=Vxx0UzIckuAC>
- Fergus C. 2002. *Trees of Pennsylvania and the Northeast*. illustrate. Mechanicsburg: Stackpole Books.
- GBIF. 2021a. Global Biodiversity Information Facility Occurrence Download. DK-2100 Copenhagen - Denmark. <https://doi.org/10.15468/dl.8kxkkb>
- GBIF. 2021b. Global Biodiversity Information Facility Occurrence Download. DK-2100 Copenhagen - Denmark. <https://api.gbif.org/v1/occurrence/download/request/0220683-200613084148143.zip>
- Gibbs D, Chen Y. 2009. *The Red List of Maples*. In: Richmond, UK: BOTANIC GARDENS CONSERVATION INTERNATIONAL (BGCI); p. 5.
- Gräf M, Pucher B, Hietz P, Hofbauer K, Allabashi R, Pitha U, Hood-Nowotny R, Stangl R. 2022. Application of leaf analysis in addition to growth assessment to evaluate the suitability of greywater for irrigation of *Tilia cordata* and *Acer pseudoplatanus*. *Sci Total Environ*. 836:155745. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972202842X>
- Grimm GW. 2003. Tracing the Mode and Speed of Intrageneric Evolution A phylogenetic case study on genus *Acer* L. (Aceraceae) and genus *Fagus* L. (Fagaceae) using fossil, morphological, and molecular data. <https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/48715>
- Grimm GW, Denk T, Hemleben V. 2007. and Evolution Evolutionary history and systematics of *Acer* section *Acer* - a case study of low-level phylogenetics. *Plant Syst Evol*. 267:215-253.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Guarino C, Cipriani G. 2013. Landscape discontinuities influence the population structure of *Acer opalus* ssp. *obtusatum* Waldst. & Kit. ex Willdenow. *Plant Biosyst.* 147(4):1029–1042.
- Guarino C, Santoro S, De Simone L, Cipriani G, Testolin R, Sciarrillo R. 2008. Differentiation in DNA fingerprinting among species of the genus *Acer* L. in Campania (Italy). *Plant Biosyst.* 142(3):454–461.
- Hammer O, Harper D, Ryan P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol Electron.* 4:1–9.
- Hong TD, Ellis RH. 1990. A comparison of maturation drying, germination, and desiccation tolerance between developing seeds of *Acer pseudoplatanus* L. and *Acer platanoides* L. *New Phytol.* 116(4):589–596. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00543.x>
- Jensen RJ, Ciofani KM, Miramontes LC. 2002. Lines, outlines, and landmarks: Morphometric analyses of leaves of *Acer rubrum*, *Acer saccharinum* (Aceraceae) and their hybrid. *Taxon.* 51(3):475–492.
- De Jong PC. 2002. Worldwide maple diversity. *Int Maple Symp 02.*:2–11.
- Kassambara A, Mundt F. 2020. factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. <https://cran.r-project.org/package=factoextra>
- Khademi H, Mehregan I, Assadi M, Nejadstari T, Zarre S. 2016. Molecular phylogeny of *Acer monspessulanum* L. subspecies from Iran inferred using the ITS region of nuclear ribosomal DNA. *BIODIVERSITAS.* 17(1):16–23.
- Klingenberg CP. 2015. Analyzing Fluctuating Asymmetry with Geometric Morphometrics: Concepts, Methods, and Applications. *Symmetry (Basel).* 7(2).
- Kodinariya T, Makwana P. 2013. Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *Int J Adv Res Comput Sci Manag Stud.* 1(6):90–95. <http://www.ijarcsms.com/>
- Kostic S, Cukanovic J, Ljubojevic M, Mladenovic E, Mrdjan S, Svilokos N. 2017. Morphometric characteristics of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) fruits in Novi Sad urban populations. *Glas Sumar Fak Fac For.*(116):69–98.
- Li J, Stukel M, Bussies P, Skinner K, Lemmon AR, Lemmon EM, Brown K, Bekmetjev A, Swenson NG. 2019. Maple phylogeny and biogeography inferred from phylogenomic data. *J Syst Evol.* 00(0):1–13. <http://dx.doi.org/10.1111/jse.12535>
- Li J, Yue J, Shoup S. 2006. PHYLOGENETICS OF ACER (ACEROIDEAE , SAPINDACEAE) BASED ON NUCLEOTIDE SEQUENCES OF TWO CHLOROPLAST NON-CODING REGIONS. *Harvard Pap Bot.* 11(1):101–115.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Liu Y, Li Y, Song J, Zhang R, Yan Y, Wang Y, Du FK. 2018. Geometric morphometric analyses of leaf shapes in two sympatric Chinese oaks: *Quercus dentata* Thunberg and *Quercus aliena* Blume (Fagaceae). *Ann For Sci.* 75(4).
- Lu X, Chen Z, Liao B, Han G, Shi D, Li Q, Ma Q, Zhu L, Zhu Z, Luo X, et al. 2022. The chromosome-scale genome provides insights into pigmentation in *Acer rubrum*. *Plant Physiol Biochem.* 186:322–333. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942822003187>
- Mechergui K, Jaouadi W, Khouja ML. 2016. Dendroecology of Montpellier maple's population (*Acer monspessulanum*) from the North Africa region: Analysis of maple stations characteristics and natural habitat. *Plant Biosyst.* 152(1):98–109. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2016.1255269>
- Meddour R, Meddour SO, Derridj A, Géhu J-M. 2010. Synopsis commenté des groupements végétaux forestiers et préforestiers de la Kabylie djurdjuréenne (Algérie). *Rev For Française.* 1971(3–4):295–308.
- Mediouni K, Azira F. 1992. Contribution à l'étude de la dynamique des formations à Erables (*Acer*) d'Ait Ouabane (Djurdjura). *Forêt méditerranéenne.* 13(2):109–114. <http://www.foret-mediterraneenne.org/fr/catalogue/id-379-contribution-a-l-etude-de-la-dynamique-des-formations-a-erables-acer-d-ait-ouabane-djurdjura->
- Mediouni RM, Said S, Ilias F, Gaouar SBS. 2021. Leaf Geometric morphometrics among a natural population of Norway maple (*Acer platanoides* L.) in Northern Algeria. *Genet Biodivers J.(Special Issue):*123–134. <https://ojs.univ-tlemcen.dz/index.php/GABJ/article/view/938>
- Messaoudene M, Laribi M, Derridj A. 2007. Étude de la diversité floristique de la forêt de l' Akfadou (Algérie). *BOIS FORÊTS DES Trop.* 291(1):75–81.
- Mhirit O. 1999. Le Cedre De L'Atlas a Travers Le Reseau ;Silva Mediterranea «Cedre». *Bilan Et Perspective. Forêt méditerranéenne.* 3(XX):91–100.
- Motahari B, Shabani N, Rahmani M-S, Mohammad-Hasani F. 2021. Genetic diversity and genetic structure of *Acer monspessulanum* L. across Zagros forests of Iran using molecular markers. *Gene [Internet].* 769:145245. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378111920309148>
- Murray E. 1969. *Flora Iranica: Aceraceae.* 61:1–11.
- Nagy L, Ducci F. 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for field maple (*Acer campestre*). Rome, Italy.
- Neophytou C, Konnert M, Fussi B. 2019. Western and eastern post-glacial migration pathways shape the genetic structure of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) in

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Germany. For Ecol Manage [Internet]. 432:83–93.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112718311289>
- Nimalaratne C, Blackburn J, Lada RR. 2020. A comparative physicochemical analysis of maple (*Acer saccharum* Marsh.) syrup produced in North America with special emphasis on seasonal changes in Nova Scotia maple syrup composition. *J Food Compos Anal.* 92:103573.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157520302180>
- Nix S. 2019. The 5 Most Common North American Maple Trees. Treehugger.
<https://www.treehugger.com/most-common-north-american-maple-trees-1341864>
- Ogata K. 1967. A systematic study of the genus *Acer*. *Bull Tokyo Univ For.*:89–203.
- Pandey M. 2005. Development of microsatellites in sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) and their application in population genetics. [place unknown]: Georg-August University of Göttingen.
- Parsa A. 2014. AFRĀ. *Encycl Iran.* 1(6):569–570.
<http://www.iranicaonline.org/articles/afra-persian-term-for-the-maple-tree-genus-acer-so-embracing-a-few-shrubs-of-the-family-aceraceae>
- Pax F. 1902. *Aceraceae*. In: A. Engler, *Das Pflanzenreich*. IV(163):1–89.
- Perkins TD, van den Berg AKBT-A in F and NR. 2009. Chapter 4 Maple Syrup – Production, Composition, Chemistry, and Sensory Characteristics. In: Vol. 56. [place unknown]: Academic Press; p. 101–143.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1043452608006049>
- Pojarkova A. 1933. Botanico-geographical survey of the maples of the USSR, in connection with the history of the whole genus. *Tr Bot Instituta Akad Nauk SSSR.* 1(1):225–374.
- Quévy B. 2016. 2016, Année de l'Erable. Wallonie. Liege: Service public de Wallonie.
<http://environnement.wallonie.be/semaine-arbre/documents.html>
- QUEZEL P, Barbero M, Loisel R. 1990. Les reboisements en région méditerranéenne. Incidences biologiques et économiques. *Forêt Méditerranéenne.* XII(2):103–114.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03555925>
- Quézel P, Santa S. 1963. Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. In: Paris; p. 615.
- R Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing.
<https://www.r-project.org>
- Rameau JC, Mansion D, Dumé G, Gauberville C. 2008. Flore forestière française tome 3, région méditerranéenne: Guide écologique illustré. [place unknown]: Institut pour

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- le développement forestier. <https://books.google.dz/books?id=P282nNjQq50C>
- Ringius G, Sims R, Meades S. 1997. *Plantes Indicatrices Des Forêts Canadiennes*. Ottawa: Ressources naturelles Canada.
- Rohlf FJ. 2015. The tps series of software. *Hystrix, Ital J Mammal*. 26(1):9-12. <http://dx.doi.org/10.4404/hystrix-26.1-11264>
- Savriama Y. 2018. A Step-by-step guide for geometric morphometrics of floral symmetry. *Front Plant Sci*. 9(October):1-23.
- Shouman S, Mason N, Kichey T, Closset-Kopp D, Heberling JM, Kobeissi A, Decocq G. 2017. Functional shift of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) towards greater plasticity and shade tolerance in its invasive range. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*. 29:30-40. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S143383191730001X>
- Siahkolae SN, Sheidai M, Assadi M, Noormohammadi Z. 2017. Pollen morphological diversity in the genus *Acer* L. (Sapindaceae) in Iran. *Acta Biol Szeged*. 61(1):95-104.
- Stahle L, Wold S. 1990. Multivariate analysis of variance (MANOVA). *Chemom Intell Lab Syst*. 9(2):127-141. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016974399080094M>
- Straigyte L, Baliuckas V. 2015. Spread intensity and invasiveness of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) in Lithuanian forests. *iForest - Biogeosciences For*. 8(5):693-699.
- Tibshirani R, Walther G, Hastie T. 2001. Estimating the number of clusters in a data set via the gap statistic. *J R Stat Soc Ser B (Statistical Methodol)*. 63(2):411-423. <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>
- Tingzhi X, Youcheng C, de Jong PC, Oterdoom HJ, Chang C-S. 2008. ACERACEAE. *Flora of China*. 11:516-553. <http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/volume11/Aceraceae.pdf>
- Trabut LC, Battandier J. 1890. *Flore de l'Algérie : Description de toutes les plantes signalées jusqu'à ce jour comme spontanée en Algérie - Les dicotyledones -*. In: *Alger*; p. 855.
- Turok J, Eriksson G, Kleinschmit J, Canger S, Campilers. 1996. *Noble Hardwoods Network*. Escherode, Germany: International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- UNESCO. 2016. *The Tlemcen Mountains*. *Ecol Sci Sustain Dev*. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/africa/algeria/tlemcen-mountains/>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Urban-Mead K. 2015. Erable de Montpellier, the Montpellier Maple. *Arnoldia*. 72(3):28. <http://arnoldia.arboretum.harvard.edu/pdf/issues/2015-72-3-Arnoldia.pdf>
- Wahlsteen E. 2020. Morphometrical methods as tools for identifying field maple (*Acer campestre* L.) trees. *Feddes Repert.* 131(1):72–81.
- Wahlsteen E. 2021. Morphometrical characteristics of cryptic invasive and indigenous gene pools of field maple *Acer campestre* L. in southern Sweden. *Nord J Bot.* 39(2). <https://doi.org/10.1111/njb.02901>
- Williams JG, Kubelik AR, Livak KJ, Rafalski JA, Tingey S V. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Res.* 18(22):6531–6535.
- Wilsey D, Miedtke J. 2013. *Maple Syrup*. Univ Minnesota Ext. First Edit:7–20.
- Zecchin B, Caudullo G, de Rigo D. 2016. *Acer campestre* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *Eur Atlas For Tree Species.* :52–53. https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Acer_campestre.pdf
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD. 2012. Geometric Morphometrics for Biologists. In: 2nd ed. San Diego: Academic Press; p. 1–20. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123869036000010>

ANNEXE

DOCUMENTS ANNEXE

SUPPORT DES ANALYSES DISCRIMINANTES :

La lecture des tableaux de discrimination est faite horizontalement dont chaque ligne représente un taxon, l'algorithme statistique a fait une comparaison entre chaque groupe et l'autre qui lui convient (colonne verticale), le calcul des taux de classification correcte (intra-groupe) peut être facilement fait par une formule de fréquence ou il suffit de divisé chaque score relative a un taxon sur le score maximale de la section, par Exemple pour investiguer qu'elle est la précision de model lors de l'évaluation de la population Algérienne par rapport aux autre taxons (Tableau 5) d'une analyse globale il suffit Just de deviser 469 sur 485 ce qui est égale a 96.7%, donc on peut dire que le model statistique prédit que 96.7% des échantillon ont été correctement classé autant que des échantillon d'Algérie, l'objective principale de ces tableaux c'est de détecter et évaluer les ressemblance selon les profiles géométriques des taxons.

Tableau 11 : matrice supplémentaire de confusion lors de l'analyse discriminante (niveau globale), pourcentage de classification correcte été 89.25%

	Alger	Camp	Cinr	Iber	Monsp	Turco	Hisp	Kahen	Opa	Total
Alger	469	0	0	1	7	6	2	0	0	485
Camp	0	59	0	0	0	0	0	0	0	59
Cinr	0	0	27	2	0	4	0	0	0	33
Iber	0	0	2	16	1	1	0	0	0	20
Monsp	3	0	12	7	72	18	0	0	0	112
Turco	2	0	0	4	14	56	2	0	0	78
Hisp	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4
Kahen	0	0	0	0	0	0	0	11	0	11
Opa	0	1	0	0	0	0	0	0	25	26
Total	474	60	41	30	94	85	8	11	25	828

Tableau 12 : matrice supplémentaire de confusion (Jackknifed) lors de l'analyse discriminante (niveau globale), pourcentage de classification correcte été 86.84%

	Alger	Camp	Cinr	Iber	Monsp	Turco	Hisp	Kahen	Opa	Total
Alger	468	0	0	1	8	6	2	0	0	485
Camp	0	59	0	0	0	0	0	0	0	59
Cinr	0	0	26	3	0	4	0	0	0	33
Iber	0	0	2	15	2	1	0	0	0	20
Monsp	4	0	12	7	68	21	0	0	0	112
Turco	2	0	0	6	22	46	2	0	0	78
Hisp	1	0	0	1	1	0	1	0	0	4
Kahen	0	0	0	0	0	0	0	11	0	11
Opa	0	1	0	0	0	0	0	0	25	26
Total	475	60	40	33	101	78	5	11	25	828

Tableau 13 : matrice supplémentaire de confusion lors de l'analyse discriminante (niveau populationnel), pourcentage de classification correcte été 88.93%

	Alger	Cinr	Iber	Monsp	Turco	Hisp	Total
Alger	473	0	0	7	4	1	485
Cinr	0	27	2	0	4	0	33
Iber	0	2	15	2	1	0	20
Monsp	3	9	8	77	15	0	112
Turco	3	0	4	15	55	1	78
Hisp	0	0	0	0	0	4	4
Total	479	38	29	101	79	6	732

Tableau 14 : matrice supplémentaire de confusion (Jackknifed) lors de l'analyse discriminante (niveau populationnel), pourcentage de classification correcte été 84.43%

	Alger	Cinr	Iber	Monsp	Turco	Hisp	Total
Alger	467	0	2	8	7	1	485
Cinr	0	25	3	0	4	1	33
Iber	0	2	12	2	4	0	20
Monsp	4	12	8	70	18	0	112
Turco	2	0	5	26	43	2	78
Hisp	0	0	2	1	0	1	4
Total	473	39	32	107	76	5	732

Tableau 15 : matrice supplémentaire de confusion lors de l'analyse discriminante (niveau des sous-espèces), pourcentage de classification correcte été 88.87%

	Tlm	Khen	Batn	Total
Tlm	123	0	19	142
Khen	4	155	9	168
Batn	21	1	153	175
Total	148	156	181	485

Tableau 16 : matrice supplémentaire de confusion (Jackknifed) lors de l'analyse discriminante (niveau des sous-espèces), pourcentage de classification correcte été 84.12%

	Tlm	Khen	Batn	Total
Tlm	111	0	31	142
Khen	4	153	11	168
Batn	29	2	144	175
Total	144	155	186	485

MATERIEL SUPPLEMENTAIRE DE LA GBIF

L'auteur a préféré de déposer des photos réelles de chaque spécimen étudié dans le but d'enrichir le travail mené. La projection des spécimens est basée sur des informations stocker au répertoire de la GBIF qui est accessible gratuitement pour les chercheurs, les spécimens ce date des périodes différentes et des régions géographiques très hétérogènes

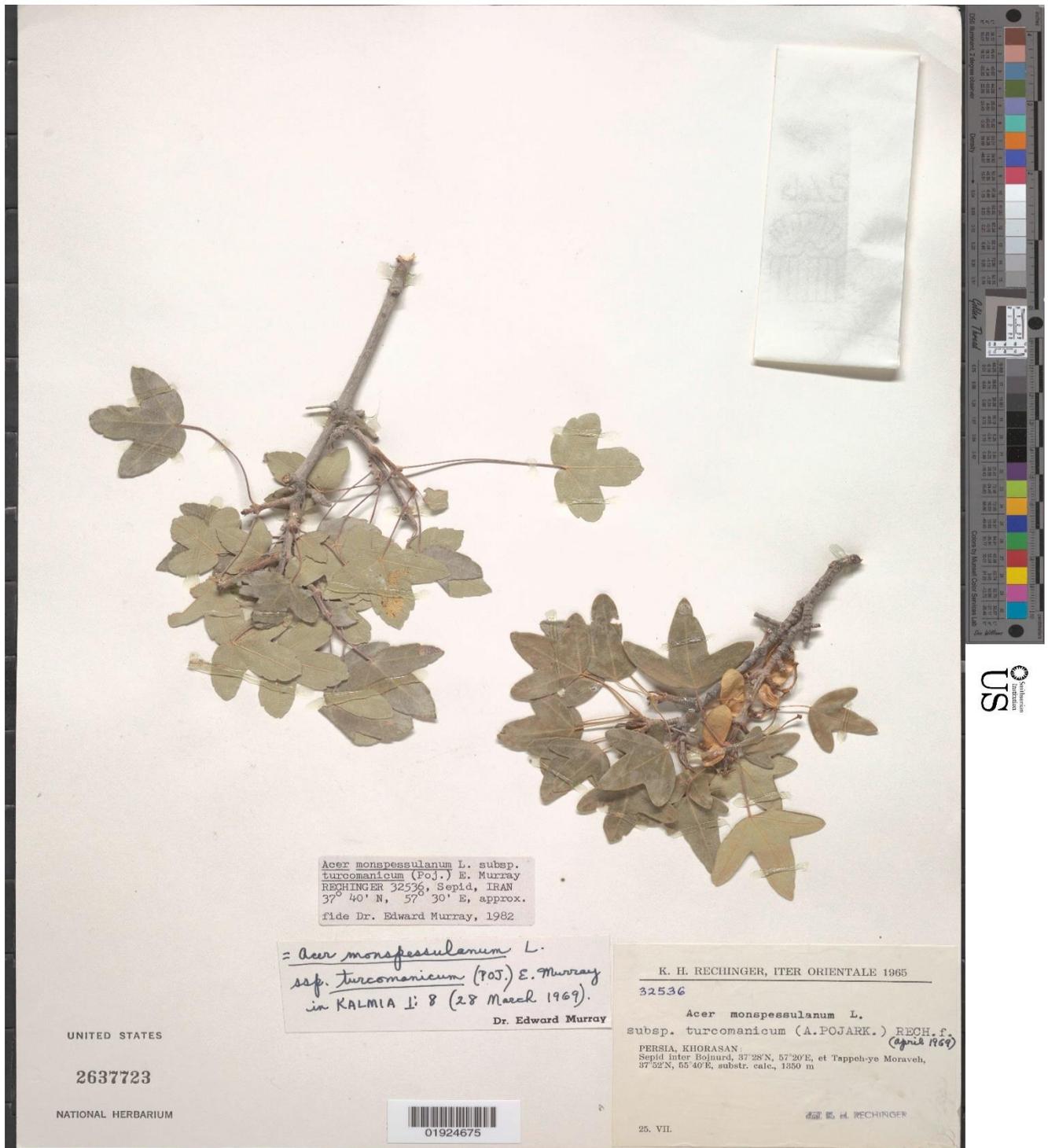


Figure 28 : *Acer monspessulanum* subsp *turcomanicum* (à droite), le spécimen est clairement distingué par son lobe central étendue et ses lobes latéraux mince, pétiole d'une petite longueur, photo prise en 1969 a Khorasan (Iran) par le grand botaniste (Rechinger)



Figure 29 : *Acer kahenae*, collection de (R.Maire) en 1920 dans les mont de Chélia (Khenchla), samaras bien croisées avec des feuilles pentalobées



Figure 30 : L'Erable Champêtre (*Acer campestre* L.) très commun en Europe, très connue par ces samares à un angle ouvert qui peut atteindre 180°



Figure 31: *Acer monspessulanum* subsp. *cinerascens* feuilles compactes de très petite taille avec un lobe centrale presque égale aux lobes latéraux



Figure 32: *Acer monspessulanum* subsp *Ibericum* (Récolte de l'Espagne en Mai 2011), Feuille Trilobée d'une taille moyenne

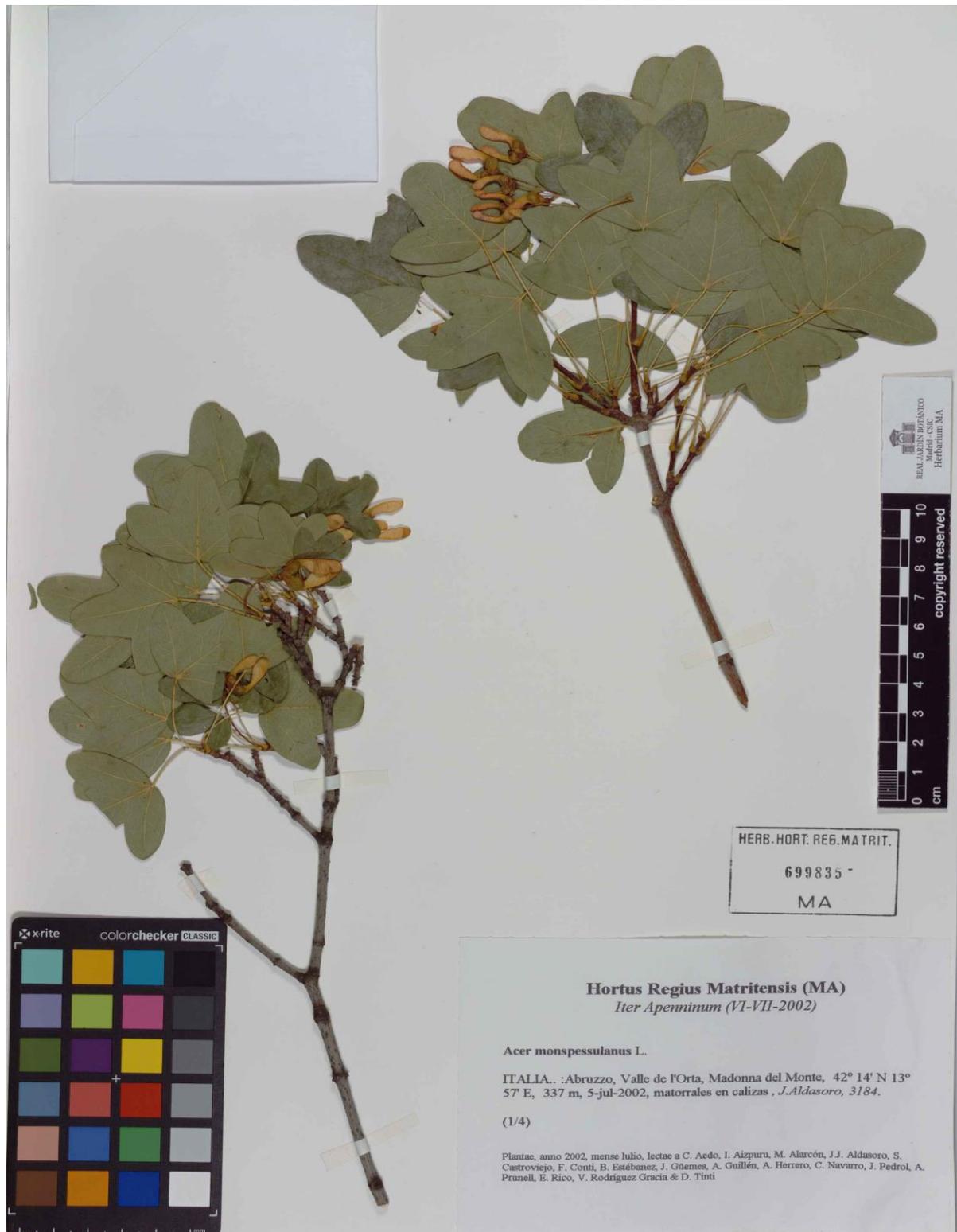


Figure 33 : L'Ecotype et l'espèce de référence *Acer monspessulanum* subsp *monspessulanum* L.
feuilles avec des lobes ovales et asymétriques

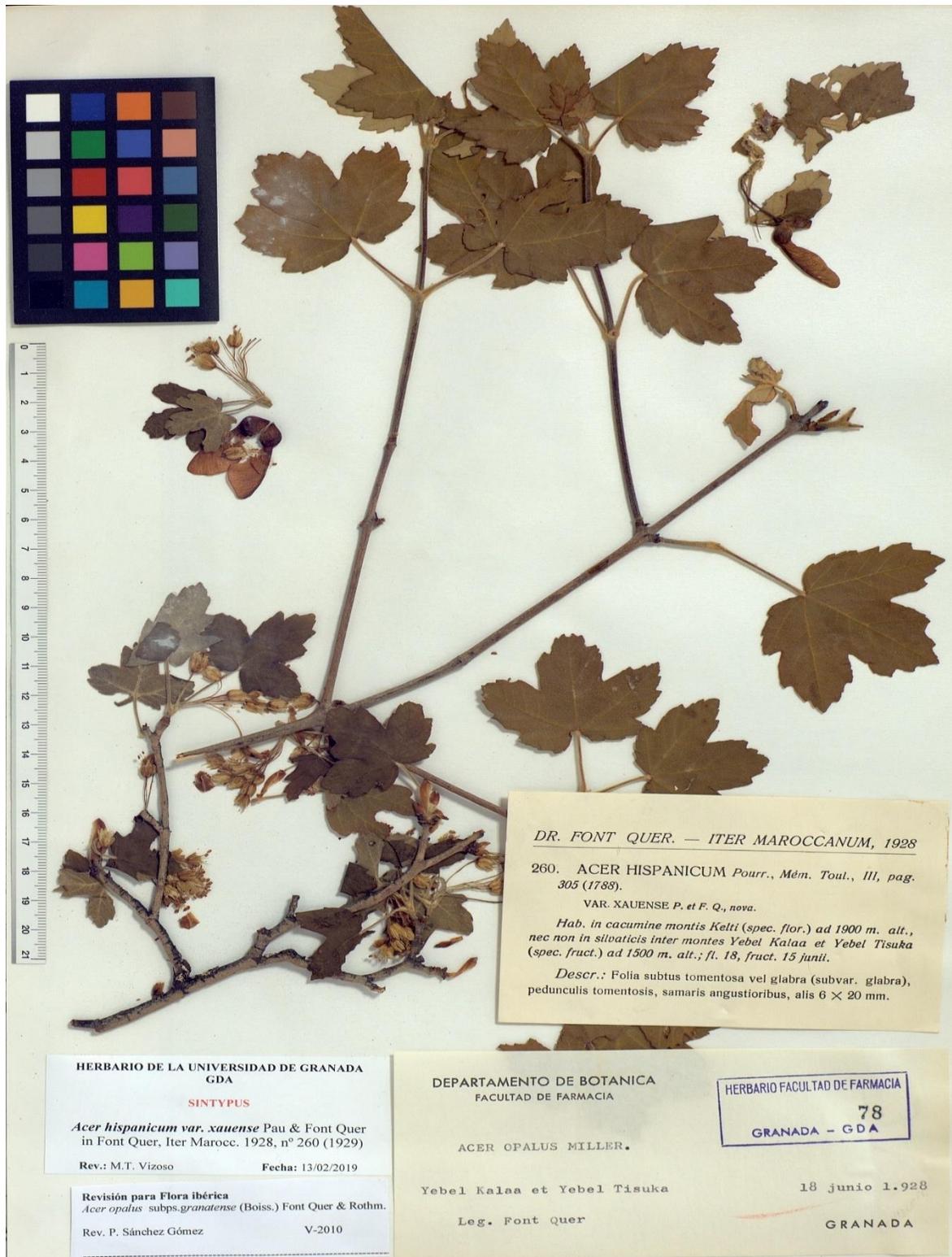


Figure 34 : *Acer opalus* subsp *hispanicum*, Récolte daté de Juin 1928 a Jebel el Kalaa au Maroc, pétiole est clairement épais, feuille hétérogènes et dentés

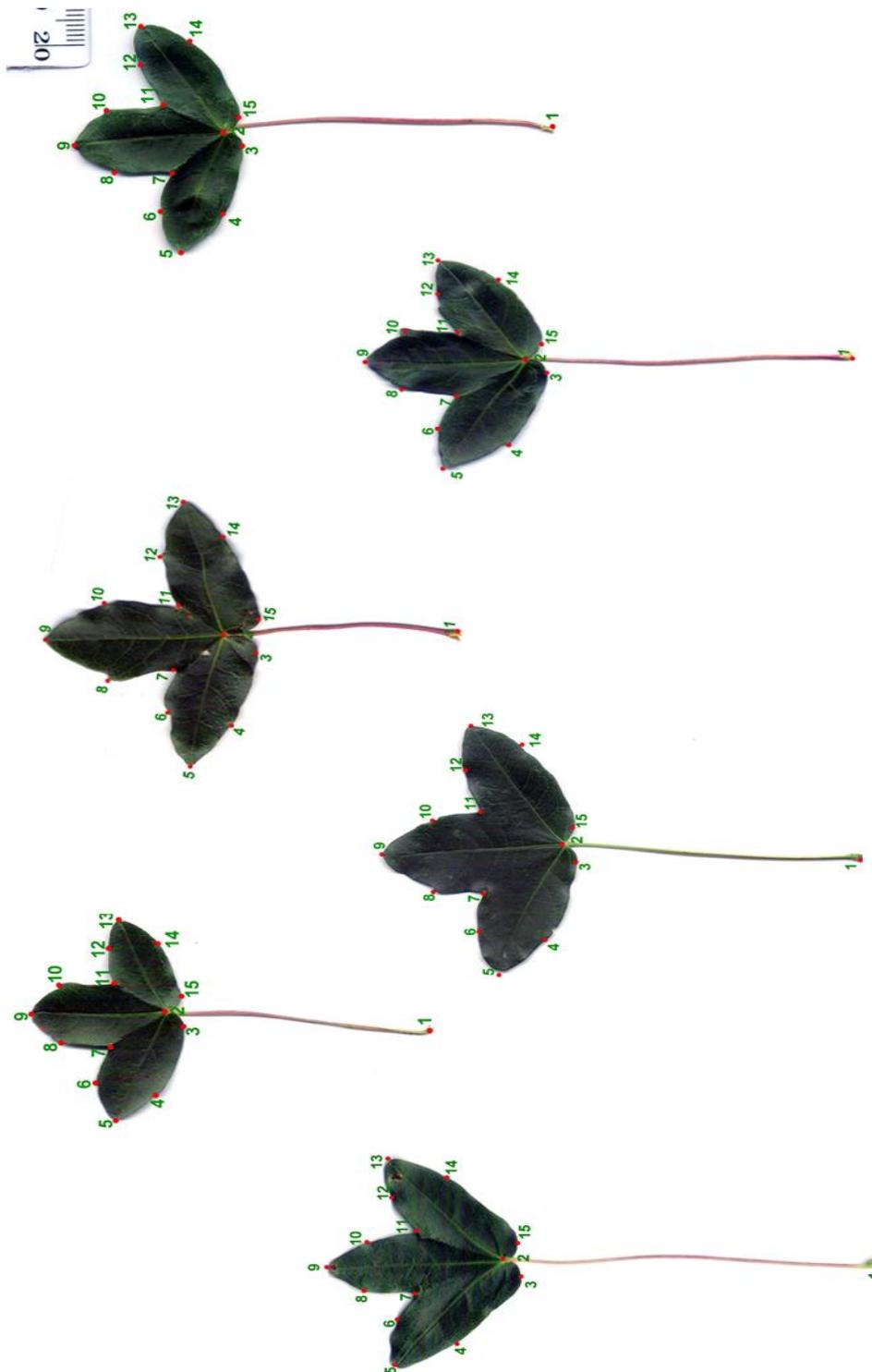


Figure 35 : Polymorphisme des feuilles d'Erable de Montpellier (*Acer monspessulanum* L.) récolté par l'auteur Rida Mohammed Mediouni durant la période 2018-2020, plusieurs sites et populations sont inclus

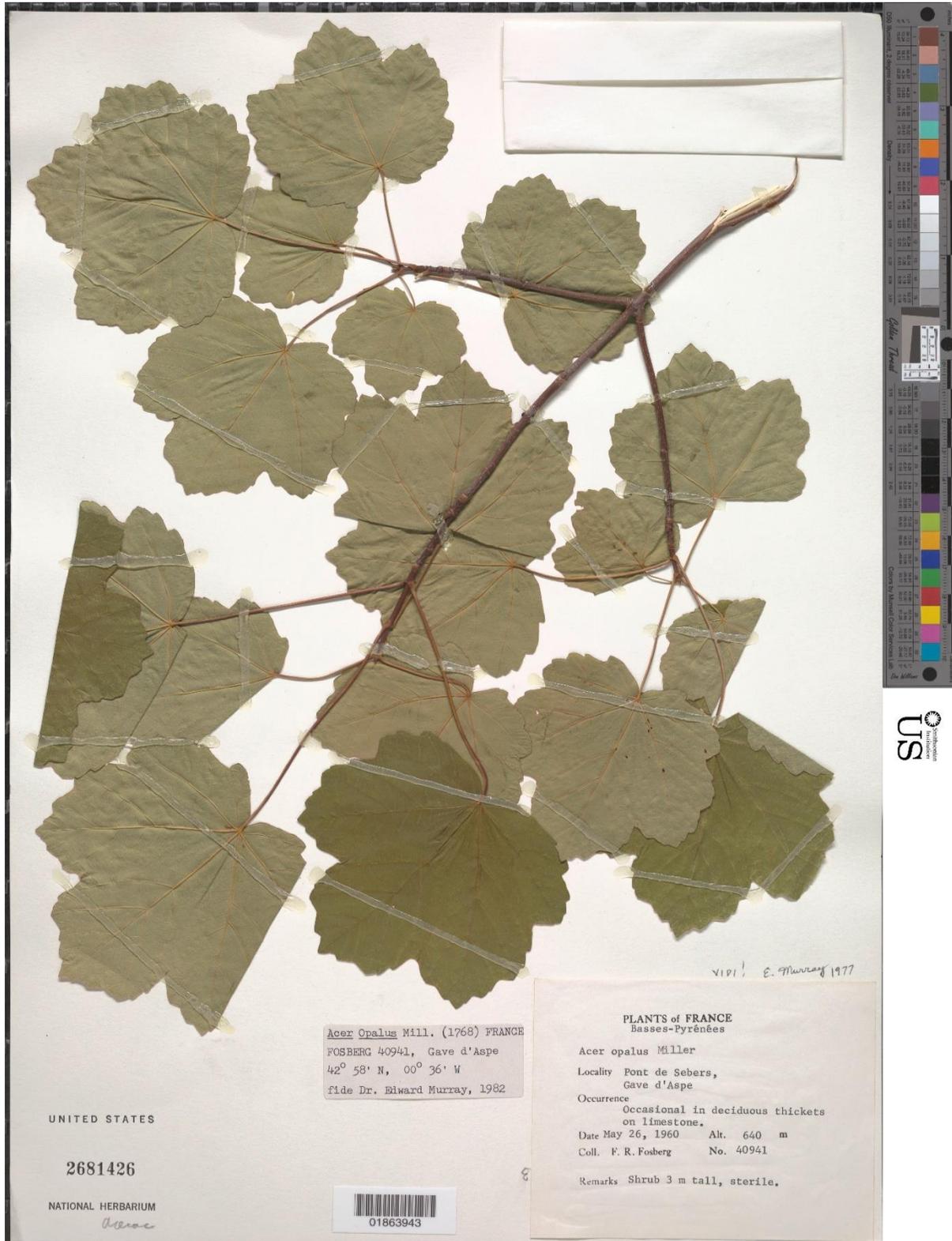


Figure 36 : L'Erable a feuilles d'obier (*Acer opalus*) Récolte de France,

Région Gave d'Aspe en Mai 1960

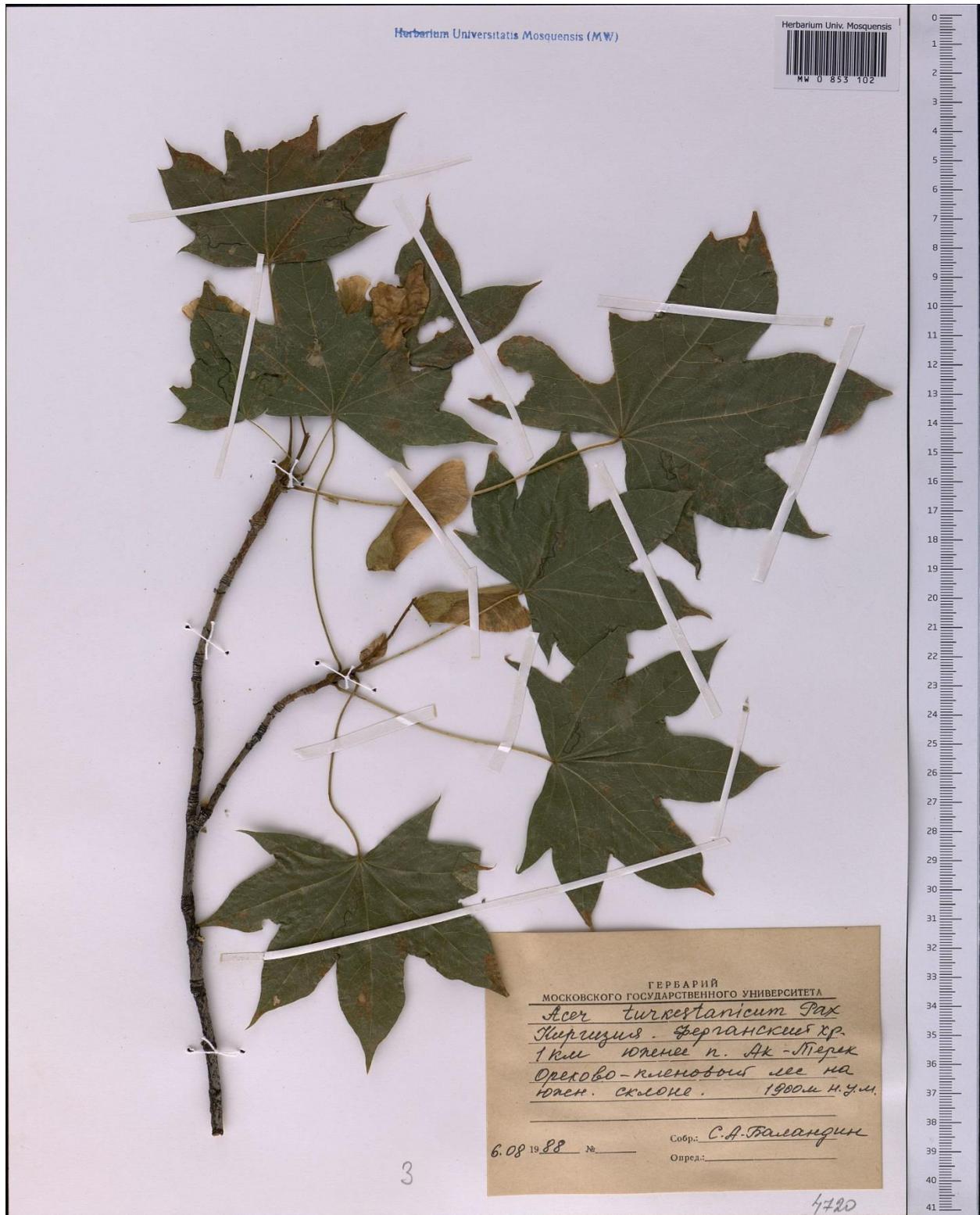


Figure 37 : La sous-espèce d'Erable de Norvège *Acer platanoides* subsp. *turkistanicum*, collection datée a 1988, Herbar Universitaire de Moscow



Figure 38 : L'Erable de Norvège *Acer platanoides* L. collection datée a 1995

RESUME

Acer est un genre d'arbre très diversifié avec une distribution principale dans l'hémisphère nord. En Afrique du Nord, les érables sont représentés par les quatre taxons *Acer campestre*, *Acer opalus*, *Acer obtusatum* et *Acer monspessulanum*, notre compréhension de l'écologie et de la taxonomie des populations d'érables en Afrique est aujourd'hui limitée, et pour cette raison des investigations morphométriques sont justifiées. Dans ce travail, nous comparons la variabilité de la forme des populations d'érables avec celles eurasiennes. Des échantillons de feuilles ont été collectés sur tout le territoire algérien et en utilisant des méthodes de morphométrie moderne par l'implication des statistiques multivariées, inférentielles et univariées.

ABSTRACT

In this work we compare the shape variability of Algerian maple populations with Eurasian ones. Leaf samples were collected across the Algerian territory and treated using geometric morphometrics and a collection of statistical tools at three population levels, the results show high intra and inter shape variability among the studied groups. At the population level, multivariate statistics including Discriminant Analysis revealed high separation of Algerian *Acer monspessulanum* versus the Eurasian samples, but also a distinct shape variability was detected among the Algerian populations. The results suggest a separate morphological entity for the Algerian samples with implications for future taxonomic interpretation.

ملخص

يقتصر هذا العمل على اظهار قيمة الاسس والمبادئ الهندسية في تحسين نتائج الدراسات المورفومترية والتي تهدف بدورها الى دراسة التنوع المورفولوجي للكائنات الحية عموما والنباتات القيقبية خصوصا. لقد تم تطبيق عدة مقاربات ذات دلالات رياضية في عملية التحليل منها المقاربات متعددة المتغيرات والمقاربات التي تعتمد على اختبار الفرضيات اضافة الى الاحصاء الوصفي والتحليل التمييزي. كلها تصب في فرضية ان اشجار القيقب التي تمت دراستها تملك بنية وراثية او على الاقل نمطا ظاهريا مختلفا عن نظيراتها الموجودة في مناطق جغرافية بعيدة مثل قارة أوروبا وآسيا. هذا العمل يقترح ايضا بروتوكولا نموذجيا يمكن اتباعه من طرف الباحثين في الميدان لتسهيل المقارنات وتوثيق المعلومات المتواجدة في قواعد البيانات حول التنوع البيولوجي في منطقة شمال افريقيا.