

| Nom et prénom          | Etablissement                                                          | Grade | Qualité            |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|
| El ARABI Hassan        | Faculté des sciences, Dhar El Mahraz, Fès                              | PES   | Président          |
| AFENZAR Abdelkrim      | Faculté des sciences, Dhar El Mahraz, Fès                              | MCH   | Rapporteur         |
| BOUDAD Larbi           | Faculté des sciences, Rabat                                            | PES   | Rapporteur         |
| El HMAIDI Abdellah     | Faculté des sciences, Meknès                                           | PES   | Rapporteur         |
| HAR Nicolae            | Faculty of Biology and Geology, Babeş-Bolyai University                | AP    | Examineur          |
| ETTENSohn Frank Robert | Department of Earth and Environmental Sciences, University of Kentucky | DP    | Examineur          |
| BALICA Constantin      | Faculty of Biology and Geology, Babeş-Bolyai University                | AP    | Expert             |
| GOURARI Lahcen         | Faculté des sciences, Dhar El Mahraz, Fès                              | PES   | Invité             |
| KARRAT Lhoucine        | Faculté des sciences, Dhar El Mahraz, Fès                              | PES   | Directeur de thèse |



## Résumé :

Cette étude concerne les formations superficielles quaternaires de la plaine du Saïs, située dans la partie nord-est du bassin du Saïs, dont l'évolution a été influencée par des processus climatiques, tectoniques et sédimentaires variés depuis le Miocène jusqu'à l'Holocène. Initialement un bassin marin, le Saïs a évolué en bassin d'avant-pays suite à une régression marine, avant de devenir continental, fluvio-lacustre au Pliocène supérieur. Les unités de cette période se composent de carbonates fluvio-lacustres, tandis que les unités détritiques du Pléistocène sont dominées par des conglomérats et des sédiments fins (sables, limons et argiles) surmontés de calcrêtes zonales qui ont rempli une vallée alluviale orientée SSW-NNE dans des conditions climatiques semi-arides méditerranéennes. Les dépôts holocènes, représentés par des tufs calcaires, marquent une transition vers des conditions plus humides, formés par des eaux karstiques dans des environnements fluviaux, fluvio-lacustres et marécageux. L'analyse minéralogique a révélé la prédominance de calcite, accompagnée de quartz, dolomite et argiles, indiquant des apports détritiques et chimiques, ainsi qu'une possible néoformation des smectites dans des conditions alcalines semi-arides. Les observations pétrographiques et au MEB ont montré que les unités détritiques se composent de galets carbonatés du substratum et du quartz dans une matrice sableuse cimentée par de la calcite, tandis que les carbonates continentaux montrent des traces biogéniques, des racines et des signes de pédogenèse. Ainsi que des minéraux argileux, des morphotypes variés de calcite, des microfossiles, des résidus végétaux et, reflétant des contributions chimiques et biogéniques à la précipitation de la calcite. Les isotopes de  $\delta^{13}\text{C}$  et  $\delta^{18}\text{O}$  ont démontré les interactions avec la matière organique et que le dégazage de  $\text{CO}_2$  est d'origine organique dans les carbonates continentaux. Ces signatures indiquent des phases climatiques humides avec une végétation C3 pour les tufs holocènes, et un climat semi-aride avec des plantes en C4 pour les calcrêtes. Les datations radiocarbone des tufs les situent dans l'Holocène moyen durant la période humide africaine (PHA) et à l'Holocène supérieur pendant l'Optimum climatique romano-ibérien (OCR). L'analyse hydro-chimique montre que les eaux sont de type  $\text{Ca-HCO}_3$  en amont et deviennent de type  $\text{Na-Cl}$  en aval. Les eaux sont d'origine météorique avec des altitudes de recharges qui correspondent aux reliefs du Moyen Atlas. Par ailleurs, l'évaluation de la qualité pour l'irrigation et la boisson dans le bassin versant de l'Oued Fès a révélé que les eaux en amont sont convenables alors que les eaux en aval, influencées par les apports anthropiques, sont donc polluées et inappropriées. Ces résultats montrent des changements paléo-environnementaux, influencés par des dynamiques hydro-chimiques, climatiques et sédimentaires.

**Mots clés :** Plio-Quaternaire, Fluvio-lacustre, Bassin de Saïss, Argiles, isotopes stables, datations radiocarbone

## GEOLOGICAL STUDY OF THE SURFICIAL FORMATIONS IN THE SUBSTRATUM OF THE CITY OF FEZ AND ITS NEIGHBOURING RURAL COMMUNES (SAÏS BASIN, MOROCCO):

### Abstract :

This study investigates the Quaternary surficial formations of the Saïs plain, located in the northeastern part of the Saïs Basin, which has been shaped by various climatic, tectonic, and sedimentary processes from the Miocene to Holocene. Initially a marine basin, the Saïs transitioned to a foreland basin due to marine regression, then became continental, filled by Plio-Quaternary fluvio-lacustrine sedimentation. The Upper Pliocene units are composed of fluvio-lacustrine limestones, while Pleistocene detrital units, dominated by conglomerates and silt-clay sized sediments topped by zonal calcretes, filled an alluvial valley influenced by semi-arid, Mediterranean conditions. Holocene deposits, represented by calcareous tufas, indicate a shift to more humid conditions, forming from karstic waters under fluvial, fluvio-lacustrine and marshy environments. Mineralogical analysis showed the dominance of calcite with minor quartz, dolomite, and clays. These clays indicate both detrital input and possible neoformation of smectite under alkaline, semi-arid, Mediterranean conditions. Petrography revealed carbonate pebbles, lithoclasts, and quartz in a sandy calcitic matrix within the detrital units, while continental carbonates showed micrite, and microspar matrix and cement, biogenic remains, and laminar textures. In addition to root traces, organic accumulations, and pedogenesis. SEM analysis highlighted calcite morphotypes, microfossils, plant residues, and clays, reflecting both chemical and biogenic contributions to sedimentation and carbonate precipitation. Stable isotope analysis of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  confirmed interactions with organic matter,  $\text{CO}_2$  degassing of organic origin, and a predominance of  $\text{C}_3$  vegetation, supporting humid climate phases within the Holocene calcareous tufas. However, these signatures revealed a predominance of  $\text{C}_4$  plants for the calcretes, reflecting a more semi-arid climate, which is consistent with their formation climate. Radiocarbon dating placed Holocene tufas within the Mid-Holocene during the African Humid Period (AHP) and Late Holocene Roman-Iberian Climate Optimum (RCO). Moreover, the hydrochemical analysis revealed water types varying from  $\text{Ca-HCO}_3$  upstream to  $\text{Na-Cl}$  downstream, influenced by water-rock interactions. The waters origin is meteoric with recharge zones traced to Middle Atlas altitudes infiltrating the basin and precipitating continental carbonates in the study area. Furthermore, the quality assessment for irrigation and drinking purposes in the Oued Fez watershed revealed that the waters upstream are suitable whereas waters downstream, influenced by anthropic inputs are thus polluted and unsuitable. These findings reveal a significant paleoenvironmental changes controlled by shifts in hydrochemistry, climate, and sedimentary dynamics.

**Key Words :** Plio-Quaternary, Fluvio-lacustrine, Saïs Basin, Clay minerals, Stable isotopes, Radiocarbon dating