



**MINISTERUL EDUCAȚIEI**  
**UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIESTI**  
**Bvd. București nr. 39, 100680 Ploiești – Romania**  
[www.upg-ploiesti.ro](http://www.upg-ploiesti.ro)

## TEZĂ DE ABILITARE

**ABORDAREA COMPREHENSIVĂ A PROTECȚIEI ECHIPAMENTELOR DIN INDUSTRIA  
PETROLULUI ȘI GAZELOR. IDENTIFICAREA UNOR NOI SOLUȚII DE TRATARE ȘI  
VALORIFICARE A REZIDUURILOR CARE AU UN CONȚINUT RIDICAT DE ȚIȚEI ȘI  
PRODUSE PETROLIERE**

Domeniul fundamental: Mine, petrol și gaze

Autor: Conf.univ.dr.ing. Cașen Panaitescu

Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești

2023

## Rezumat

Teza de abilitare intitulată „*ABORDAREA COMPREHENSIVĂ A PROTECȚIEI ECHIPAMENTELOR DIN INDUSTRIA PETROLULUI ȘI GAZELOR. IDENTIFICAREA UNOR NOI SOLUȚII DE TRATARE ȘI VALORIFICARE A REZIDUURILOR CARE AU UN CONȚINUT RIDICAT DE PRODUSE PETROLIERE*” prezintă o selecție a celor mai importante contribuții ale mele în domeniul cercetărilor teoretice, experimentale și aplicative pe care le-am desfășurat pe parcursul perioadei 2008-2023, după obținerea titlului științific de doctor în anul 2008.

Lucrarea de față are în componență două secțiuni și anume:

Secțiunea A: Principale realizări științifice obținute după acordarea titlului de doctor inginer;

Secțiunea B: Evoluția și dezvoltarea carierei profesionale.

Secțiunea A cu titlul „Principalele realizări științifice obținute după acordarea titlului de doctor inginer” are în componență două capitole și anume:

- Capitolul 1 – „*Contribuții privind reducerea fenomenelor de coroziune în industria de petrol și gaze*”;
- Capitolul 2 – „*Contribuții privind realizarea unor noi tehnologii de valorificare a reziduurilor din industria de petrol și gaze în contextul dezvoltării durabile*”.

În Capitolul 1 – „*Contribuții privind reducerea fenomenelor de coroziune în industria de petrol și gaze*”, sunt evaluate comprehensiv posibilitățile de protecție la coroziune a echipamentelor din industria de petrol și gaze prin găsirea unor soluții nondistructive a aliajelor de oțel dar și de adaos a unor compuși în aliaje. Fenomenul de coroziune reprezintă peste 70% din motivele de intervenție în instalațiile din domeniul petrolului și gazelor. Pierderile de metal înregistrate în acest domeniu, fac ca studierea acestui fenomen să fie de actualitate. Găsirea unor soluții adecvate, evaluarea corectă a cauzelor și efectelor proceselor de coroziune, face parte din soluționarea tehnico-economică a condițiilor optime de lucru și de utilizare adecvată a materialelor metalice în procesele de extracție, rafinare și transport a țițeiului, gazelor dar și a produselor finite. Procentul mare de apă sărată din țiței duce la apariția fenomenelor de coroziune în cazul extracției țițeiului. Aceste fenomene apar atât în zona de fund cât și la

suprafața sondei. În zona de fund coroziunea apare la țevile de extracție, care sunt construite din diferite tipuri de oțel, în funcție de mediul de lucru, de adâncime și de salinitatea mediului.

Utilizarea inhibitorilor de coroziune “verzi”, ecologici, este o practică tot mai frecventă folosită în industrie în vederea minimizării impactului asupra mediului. Am luat în considerare textura acestor inhibitori care au la bază plante sau care se bazează în totalitate pe prelucrarea corpului plantei, element esențial în alegerea acestora. Toate informațiile precedente au fost corelate cu proprietățile antioxidante datorate substanțelor active conținute. Alegerea unei categorii sau alteia de plante a avut la bază și considerente economice. Abundența acestor plante, rentabilitatea, prelucrarea simplă și, existența compușilor antioxidanți este un punct important în alegerea acestor materiale. Astfel la finalul elaborării metodei de protecție la coroziune studiul a fost unul complet îndeplinind condițiile tehnico-economice necesare aplicabilității industriale.

În lucrarea de față este prezentată o selecție a acestor studii și anume: utilizarea PBLE (Piper Betle) și a HCLE (Houttuynia cordata). Inițial suprafața oțelului a fost puternic corodată într-o soluție de HCl 0,1 M cu un pH = 1, rezultând o suprafață complet degradată, cu o cantitate mare de produse de coroziune care constau în principal din produse de oxid/hidroxizi de fier, după cum confirmă măsurătorile XPS efectuate ulterior. Acest fenomen de coroziune severă a dus la apariția bulelor de gaz ca o observație în timpul expunerii oțelului la soluția investigată fără adaos de PBLE. Rezultatele cercetărilor efectuate de către autoarea prezentei lucrări, indică faptul că eficiența de inhibare este crescută prin adăugarea de Piper Betle (PBLE) la o concentrație de până la 2000 ppm datorită formării unui film protector compact, robust și uniform, într-un mediu de HCl. Concentrația soluțiilor utilizate de „Piper betle” (PBLE) a fost cuprinsă între 1000 și 2500 ppm. Au fost folosite pentru testare epruvete din oțel standardizate. Acestea au constat dintr-un specimen de oțel ca electrod de lucru, argint/clorură de argint ca electrod de referință și două electrozi de titan utilizați drept contraelectrozi. Imaginile SEM au indicat că PBLE a dus la o atenuare ridicată a coroziunii oțelului în soluția de HCl 0,1 M prin formarea unui film izolator poros pe suprafața oțelului, ale cărui componente au fost caracterizate prin XPS. Suprafața oțelului expusă în sistemul cu inhibitor este acoperită în totalitate de o peliculă izolatoare poroasă, ceea ce indică nivelul ridicat de inhibare a coroziunii pentru oțel în soluția de acid clorhidric.

Folosirea **HCLE** (*Houttuynia cordata*) la inhibarea proceselor de coroziune a structurilor din oțel utilizate în industria de extracție a petrolului și gazelor, este o altă alternativă viabilă având în vedere abundența acesteia ca planta ornamentală comună, prețul de cost scăzut și gradul ridicat de biodegradabilitate. Noutatea pe care am adus-o în colaborare cu un colectiv de cercetare internațional din acest domeniu, a arătat că ideea folosirii acestei plante este inovatoare în domeniul utilizării ei ca inhibitor de coroziune. Capacitatea de inhibare a coroziunii cu extractul de frunze de HCLE în mediu de acid clorhidric 0,1 M, a fost testată utilizând polarizarea potențiodinamică (PD), spectroscopia de impedanță electrochimică (EIS), rezistența la polarizare liniară (LPR) și măsurarea gravimetrică. Morfologia suprafeței și compoziția inhibitorilor au fost caracterizate utilizând microscopia electronică de scanare (SEM), spectroscopia în infraroșu cu transformata Fourier (ATR FTIR) cu reflectanță totală atenuată, gaz-cromatografia cuplată cu spectrometria de masă (GC-MS) și spectroscopia fotoelectronică cu raze X (XPS). Efectele activității de inhibare a fitocompușilor din extractul de plantă ar putea fi astfel explicată prin consumul flexibil de electroni și/sau donarea de grupări organice multifuncționale pe suprafața metalului pentru a sprijini adsorbția chimică, cât și fizică pe suprafața acestuia, obstrucționând astfel reacțiile totale de coroziune anodică și catodică.

O altă direcție pe care am abordat-o în cadrul cercetărilor efectuate a avut în vedere adăugarea unor compuși în aliaje care să ducă la creșterea rezistenței acestora la fenomenele de coroziune neuniformă. Din păcate în industria extractivă de petrol și gaze acestea fenomene sunt cele mai întâlnite. Apariția în acest caz a fenomenului de pitting limitează performanțele tehnologice ale utilajelor. Studiile în domeniu sunt cu atât mai importante cu cât nu se poate aprecia cu exactitate viteza de propagare a acestui fenomen. Răspândirea folosirii unor aliaje de tip Mg-5Al-4Sn a impus și găsirea unor soluții care să contribuie la creșterea rezistenței la coroziune a acestora. Adăugarea Ca în aliaje de tip Mg-5Al-4Sn a dus la rezultate electrochimice care au arătat că potențialul de coroziune ( $E_{corr}$ ), potențialul de pitting ( $E_{pit}$ ), stabilitatea filmului și rezistențele la transferul de peliculă și sarcină ale specimenelor investigate au crescut atunci când conținutul de calciu din aliaje a crescut până la 1,0% în greutate. Caracterizările suprafeței au arătat că adăugarea de calciu favorizează formarea unui film pasiv, care conține un amestec de oxizi/hidroxizi de aluminiu, magneziu și staniu, distribuit uniform pe suprafața aliajului. În special,

adăugarea de calciu promovează, de asemenea, o distribuție mai uniformă a fazelor secundare în structura aliajului, stimulând formarea peliculei pasive pe suprafețele aliajului. Aceste beneficii stimulează o rezistență mai mare la pitting în aliajele pe bază de Mg-5Al-4Sn. În plus, calciul are un potențial de reducere standard apropiat de cel al Mg și pare a fi un bun candidat de aliere pentru aliajele de Mg, îmbunătățind rezistența acestora prin consolidarea soluției și rezistența la coroziune. De asemenea, calciul a fost recomandat ca element de aliere pentru sistemele Mg-Al-Sn datorită formării precipitatelor de CaMgSn care au ca rezultat proprietăți mecanice bune.

Tot în cadrul acestei direcții de cercetare am analizat rolului stronțului, utilizat ca element de aliere pentru îmbunătățirea rezistenței la pitting a aliajelor pe bază de Mg-5Al-4Sn într-o soluție alcalină. Măsurătorile de polarizare potențiodinamică sugerează că adăugarea de stronțiu crește robustețea rezistenței la pitting ca urmare a potențialului de pitting mai mare și a gamei mai largi de potențial pasiv. Spectroscopia de impedanță electrochimică (EIS) confirmă formarea unei pelicule pasive solide pe suprafața aliajului datorită creșterii semnificative a filmului pasiv și a rezistenței la transferul de sarcină, precum și a valorilor mai mici ale amplitudinii elementului de fază constantă a filmului și stratului dublu. În plus, rezultatele de polarizare potențiostatică arată, de asemenea, o densitate de curent pasivă mai mică și o stabilitate pasivă a filmului, rezultând o creștere a timpului de descompunere atunci când cantitatea de stronțiu adăugată la aliaj crește de la 0,0 la 1,0% în greutate.

În Capitolul al II-lea – „*Contribuții privind realizarea unor noi tehnologii de valorificare a reziduurilor din industria de petrol și gaze în contextul dezvoltării durabile*”, sunt prezentate rezultatele autoarei în domeniul valorificării reziduurilor din industria de petrol și gaze. Structurarea cercetărilor pe subcapitole și anume: tratarea/epurarea apelor uzate cu un conținut ridicat de țiței și produse petroliere finite, bioremedierea solurilor contaminate cu produse petroliere din zonele de exploatare a țițeiului, tratarea și valorificarea deșeurilor, reprezintă de fapt evoluția muncii de cercetare efectuată în cadrul laboratoarelor din Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești. Rezultatele cercetărilor efectuate constituind baza celor peste 20 de contracte de cercetare unde am fost director de contract, au fost implementate cu succes, ulterior fiind publicate în literatura de specialitate în vederea diseminării acestora.

Retehnologizarea stațiilor de tratare în vederea recuperării unei cantități mai mari de hidrocarburi, scăderii valorii indicatorilor fizico-chimici de ieșire și implicit reducerea impactului asupra mediului, au fost și sunt preocupări curente în cercetările efectuate. Pentru realizarea acestor cercetări, am realizat atât în cadrul laboratorului din UPG Ploiești cât și in situ, instalații micropilot care au reprodus condițiile existente din stațiile de tratare. Prelevarea probelor în timp real a permis gestionarea corectă a dinamicii procesului de tratare a apelor uzate. Elaborarea procesului de tratare ale unei stații mobile de tratare ape uzate în cazul poluărilor accidentale prin implementarea unei baze de date determinată în laborator în funcție de caracteristicile apelor uzate, unică în Județul Prahova, a făcut parte din portofoliul meu de cercetare în contextul dezvoltării durabile. Pe baza parametrilor de calitate ai apelor la intrarea și ieșirea din SEM(stația mobilă de epurare) se poate observa că eficiențele de epurare sunt superioare, iar instalația suportă încărcări variate obținând un efluent de calitate. Evacuarea efluenților din SEM în stații de epurare, în emisar sau utilizarea acestora pentru irigații este permisă cu respectarea condițiilor de calitate prevăzute în normativele în vigoare.

O altă direcție pe care am abordat-o a fost aceea a poluării datorată apelor de zăcământ care conțin cantități mari de săruri și care produc modificări în structura solului și exercită un rol de inhibiție asupra plantelor și microorganismelor din sol. Am realizat astfel numeroase studii de laborator pentru a demonstra viabilitatea procesului ales (bioremediere) în vederea refacerii solurilor contaminate cu produse petroliere din aceste zone.

Valorificare deșeurilor prin construirea instalațiilor de biogaz a avut ca rezultat construirea unei instalații de valorificare a biogazului în domeniul energiilor regenerabile. Astfel pe baza cercetărilor in situ efectuate, am contribuit la construcția unei instalații care valorifică gazul de deșeu producând energie electrică.

Rezultatele științifice au fost validate și diseminate prin intermediul celor 9 cărți, 26 articole în reviste indexate WOS, cu factor de impact și scor de citare, 5 articole în volumele unor conferințe indexate WOS, 33 de articole publicate în reviste și volumele unor manifestări științifice (in extenso) indexate în alte baze de date internaționale (necotate ISI), a 42 de participări la conferințe naționale de specialitate cu publicarea lucrărilor în extenso sau a abstractelor, a trei brevete de invenție.

Secțiunea a doua este dată de „Evoluția și dezvoltarea carierei profesionale”. Aici sunt descrise toate etapele și acțiunile specifice cercetării fundamentale și aplicative, creșterii vizibilității cercetării, pentru a răspunde provocărilor din mediile naționale și internaționale, gestionării eficiente a acestora și continuarea creerii interfețelor operaționale cu partenerii din mediul universitar și socio/economic. Valorificarea potențialului în domeniul predării și cercetării, menținerea dar și crearea unor noi echipe de cercetare cadre didactice-studenți la o dimensiune națională și internațională va permite valorificarea întregului potențial acumulat.

Selecția rezultatelor științifice realizată în cadrul acestei teze de abilitare este realizată pe baza reperelor profesionale care dau o viziunii asupra muncii de cercetare și a carierei didactice. Evoluția carierei viitoare prin continuarea centrării activităților viitoare pe student astfel încât acesta să beneficieze de transferul de know-how în timp real, asimilarea celor mai noi tehnologii și realizarea cercetărilor experimentale dar și a transferului tehnologic, sunt deziderate care vor sta la baza dezvoltării mele profesionale în continuare.

## Summary

The habilitation thesis entitled "*COMPREHENSIVE APPROACH TO THE PROTECTION OF OIL AND GAS INDUSTRY EQUIPMENT. IDENTIFICATION OF NEW SOLUTIONS FOR THE RECOVERY OF RESIDUES WITH HIGH CONTENT OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS*" presents a selection of the most important contributions in the field of theoretical, experimental and applied research that I carried out during the period 2008-2023, after obtaining the scientific title of doctor in 2008.

The present work consists of two sections, namely:

Section A: Main scientific achievements obtained after the award title of Doctor in Engineering;

Section B: The evolution and development of the professional career.

Section A, entitled „Main scientific achievements obtained after the award title of Doctor in Engineering” is comprised of the following two chapters:

- Chapter 1 – „*Contributions to the reduction of corrosion phenomena in the oil and gas industry*”;
- Chapter 2 – „*Contributions to the implementation of new technologies for the valorization of residues from the oil and gas industry in the context of sustainable development*”.

In Chapter 1 – „*Contributions to the reduction of corrosion phenomena in the oil and gas industry*”, the possibilities of corrosion protection of equipment in the oil and gas industry are comprehensively evaluated by finding non-destructive solutions for steel alloys but also for the addition of some compounds in the alloys. The corrosion phenomenon represents over 70% of the reasons for intervention in oil and gas facilities. The metal losses recorded in this field make the study of this phenomenon topical. Finding appropriate solutions, the correct evaluation of the causes and effects of corrosion processes, is part of the technical-economic solution for optimal working conditions and the appropriate use of metallic materials in the extraction, refining and transportation processes of oil, gas and final products.

The high percentage of salt water in raw oil leads to corrosion phenomena in the case of oil extraction. These phenomena occur both in the bottom area and at the surface of the well. In



the bottom zone, corrosion occurs in extraction pipes, which are constructed of different types of steel, depending on the working environment, depth and salinity.

The use of "green", ecological corrosion inhibitors is an increasingly common practice in the industry in order to minimize the impact on the environment. We have taken into account the texture of these plant-based inhibitors or which are based entirely on the processing of the plant's body, an essential element in its selection. All the previous information was correlated with the antioxidant properties due to the active substances contained. The choice of different categories of plants was also based on economic considerations. The abundance of these plants, profitability, simple processing and the existence of antioxidant compounds is an important point in choosing these materials. Thus, at the end of the development of the corrosion protection method, the study was complete, meeting the technical and economic conditions necessary for industrial applicability.

In the present work, a selection of these studies is presented, namely: the use of PBLE (Piper Betle) and HCLE (Houttuynia cordata). Initially the steel surface was strongly corroded in a 0.1 M HCl solution with a pH = 1, resulting in a completely degraded surface with a large amount of corrosion consisting mainly of iron oxide/hydroxide products, as confirmed by subsequent XPS measurements. This severe corrosion phenomenon resulted in the appearance of gas bubbles as an observation during the exposure of the steel to the investigated solution without the addition of PBLE. The results of the research carried out by the author of this paper indicate that the inhibition efficiency is increased by adding Piper Betle (PBLE) at a concentration of up to 2000 ppm due to the formation of a compact, robust and uniform protective film in an HCl environment. The concentration of the solutions used by "Piper betle" (PBLE) was between 1000 and 2500 ppm. Standardized steel specimens were used for testing. These consisted of a steel specimen as the working electrode, silver/silver chloride as the reference electrode and two titanium electrodes used as counter electrodes. SEM images indicated that PBLE resulted in high attenuation of steel corrosion in 0.1 M HCl solution by forming a porous insulating film on the steel surface, the components of which were characterized by XPS. The exposed steel surface in the inhibitor system is completely covered by a porous insulating film, indicating the high level of corrosion inhibition for steel in the hydrochloric acid solution.

The use of HCLE (Houttuynia cordata) to inhibit the corrosion processes of steel structures used in the oil and gas extraction industry is another viable alternative considering its abundance

as a common ornamental plant, low price and high degree of biodegradability. The novelty that I brought, in collaboration with an international research group in this field, showed that the idea of using this plant is innovative in the field of corrosion inhibitors. The corrosion inhibition ability of HCLE leaf extract in 0.1 M hydrochloric acid medium was tested using potentiodynamic polarization (PD), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), linear polarization resistance (LPR) and gravimetric measurement. The surface morphology and composition of the inhibitors were characterized by using scanning electron microscopy (SEM), attenuated total reflectance infrared spectroscopy with Fourier transform (ATR FTIR), gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The effects of the inhibition activity of the phytochemicals in the plant extract could thus be explained by the flexible consumption of electrons and/or the donation of multifunctional organic groups on the metal surface to support chemical as well as physical adsorption on its surface, thus obstructing the overall corrosion reactions anodic and cathodic. The effects of the inhibiting activity of the phytochemicals in the plant extract could thus be explained by the flexible consumption of electrons and/or the donation of multifunctional organic groups on the metal surface to support chemical and physical absorption on its surface, thus obstructing all the anodic and cathodic corrosion reactions.

Another direction we approached during the research took into consideration the addition of some compounds in the alloys, that could increase their resistance to non-uniform corrosion. Unfortunately, this phenomenon is frequently encountered in the oil and gas extraction industry. The appearance in this case of the pitting phenomenon limits the technological performance of the machines. Studies in the field are all the more important as the speed of propagation of this phenomenon cannot be accurately assessed. The spread use of Mg-5Al-4Sn alloys also required finding solutions that would contribute to increasing their corrosion resistance. The addition of Ca in Mg-5Al-4Sn alloys led to electrochemical results that showed that the corrosion potential ( $E_{corr}$ ), pitting potential ( $E_{pit}$ ), film stability and film and charge transfer resistances of the investigated specimens increased when the calcium content of the alloys was increased to 1.0 % of the weight.

The surface characterizations showed that the addition of calcium favors the formation of a passive film, which contains a mixture of aluminum, magnesium and tin oxides/hydroxides,

uniformly distributed on the surface of the alloy. In particular, the addition of calcium also promotes a more uniform distribution of secondary phases in the alloy structure, stimulating the formation of the passive film on the surface. These benefits drive higher pitting resistance in Mg-5Al-4Sn-based alloys. In addition, calcium has a standard reduction potential close to that of Mg and appears to be a good alloying candidate for Mg alloys, improving their strength through solution strengthening and corrosion resistance. Calcium has also been recommended as an alloying element for Mg-Al-Sn systems due to the formation of CaMgSn precipitates that result in good mechanical properties.

Also within this research direction, we analyzed the role of strontium, used as an alloying element to improve the pitting resistance of alloys based on Mg-5Al-4Sn in an alkaline solution. Potentiodynamic measurements suggest that the addition of strontium increases the robustness of the pitting resistance as a result of the higher pitting potential and wider passive potential range. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) confirmed the formation of a solid passive film on the surface of the alloy due to the significant increase in the passive film and charge transfer resistance, as well as lower values of amplitude for the constant phase element of the film and the double layer. In addition, the potentiostatic polarization results also show a lower passive current density and passive film stability, resulting in an increase in the breakdown time when the amount of strontium added to the alloy is increased from 0.0 to 1, 0% in weight.

In Chapter 2 – *„Contributions to the implementation of new technologies for the valorization of residues from the oil and gas industry in the context of sustainable development”*. are presented the author's results in the field of waste recovery from the oil and gas industry. The structuring of research into sub-chapters namely: treatment/purification of wastewater with a high content of raw oil and finished petroleum products, bioremediation of soils contaminated with petroleum products from oil exploitation areas, waste treatment and valorization, actually represents the evolution of the research work carried out within the laboratories of Petroleum-Gas University of Ploiești. The results of the research conducted, constituting the basis of over 20 research contracts where I was the director in charge, were successfully implemented, later being published in the specialized literature for dissemination.

The technological improvements of the treatment plants in order to recover a greater amount of hydrocarbons, the value decrease of the physico-chemical indicators and implicitly the reduction

of the impact on the environment, were and are current concerns in the research carried out. In order to carry out these researches, we created both in the laboratory of Petroleum-Gas University of Ploiești and in situ, micropilot installations that reproduced the existing conditions in the treatment plants. Real-time sampling allowed for the correct management of the dynamics of the wastewater treatment process. The development of a treatment process for a mobile wastewater treatment plant in case of accidental pollution by implementing a database determined in the laboratory according to the characteristics of wastewater, unique in Prahova County, was part of my research portfolio in the context of sustainable development. Based on the water quality parameters at the entrance and exit of the SEM (mobile treatment station), it can be observed that the treatment efficiencies are superior, and the installation supports various loads obtaining a quality effluent. Evacuation of the effluents from the SEM in treatment plants, in the emissary or their use for irrigation is allowed in compliance with the quality conditions stipulated in the regulations in force.

Another direction that I approached was that of pollution due to groundwater containing large amounts of salts, which produces changes in the structure of the soil and exert an inhibitory role on plants and microorganisms in the soil. We have thus carried out numerous laboratory studies to demonstrate the viability of the chosen process (bioremediation) in order to restore soils contaminated with petroleum products in these areas.

The capitalization of waste through the construction of biogas plants resulted in the construction of a biogas utilization plant in the field of renewable energies. Thus, based on the in-situ research, I contributed to the construction of a facility that uses waste gas to produce electricity.

The scientific results were validated and disseminated through the 9 books, 26 articles in WOS indexed journals, with impact factor and citation score, 5 articles in the volumes of WOS indexed conferences, 33 articles published in journals and volumes of scientific events (in extenso) indexed in other international databases (not listed by ISI), 42 participations in specialized national conferences with the publication of entire papers or abstracts, three invention patents.

The second section is given by "Professional career evolution and development". Here are described all the stages and actions taken for fundamental and applied research, for increasing the

visibility of the research, to respond to challenges from the national and international environments, their effective management and the continuation of the creation of operational interfaces with partners from the university and socio-economic environment. Capitalizing on the potential in the field of teaching and research, maintaining but also creating new teacher-student research teams on a national and international scale will allow capitalizing on all the accumulated potential.

The selection of the scientific results carried out in this habilitation thesis is based on the professional benchmarks that give a vision of the research work and the teaching career. The evolution of the future career by continuing to focus future activities on the student so that he benefits from the transfer of know-how in real time, the assimilation of the latest technologies and the realization of experimental research but also of technological transfer, are challenges which will be the basis of my further professional development.