GEORGES URBAIN (1872-1938) e a Química das Terras Raras

JOSÉ CLARO-GOMES*

1. Introdução

Georges Urbain é um químico francês do início do século XX, cuja obra constitui um caso bastante interessante de analisar no sentido de avaliar os estilos nacionais de investigação no período até ao início da primeira grande guerra mundial (1900 – 1914). Pouco conhecido do público em geral, ele é por vezes mencionado pelos seus trabalhos no campo das Terras Raras, elementos que isolou com um grau de pureza nunca antes obtido e que inseriu correctamente na Tabela Periódica. As suas longas investigações são ainda coroadas pela descoberta de um novo elemento : o Lutécio. Entre 1900, um ano após a sua defesa de tese de doutoramento, e 1914, data da sua mobilização como químico de guerra, Urbain repete milhares de vezes as cristalizações fraccionadas dos sais das Terras Raras, introduz novos métodos que permitem separar estes elementos das suas misturas iniciais e caracterizar as suas propriedades físicas. Esta busca dum elevado grau de pureza é do domínio da ciência pura. Como Marie Curie, de quem é grande amigo e colaborador, Georges Urbain tem um objectivo principal : preencher as casas vazias da Tabela Periódica. As trocas de aparelhos e de amostras de minerais entre Urbain e Marie Curie levam-nos a elaborar um programa de investigação em comum. A convivência é de tal ordem que, em 1929, concorrem em conjunto a fim de angariar fundos, para a criação de dois

Figura 1 Georges Urbain

laboratórios contíguos, o laboratório do Rádio e o Laboratório das Terras Raras.

Nascido em Paris a 12 de Abril de 1872 no rescaldo da guerra franco-prussiana, Urbain entra para a Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI), segundo a vontade do seu pai, Victor Urbain, onde termina os estudos superiores em 1894 como o melhor aluno. Em seguida, obtém nesta escola a posição de assistente do laboratório de Química Mineral. As investigações conduzidas neste laboratório permitem-lhe não só entrar em contacto com Pierre Curie, que era então aí professor, mas

igualmente reforçar a sua amizade com o físico Paul Langevin que ele conheceu na Ecole Lavoisier, durante os seus estudos secundários. Os dois cientistas demonstrarão ao longo de toda a vida uma amizade profunda como testemunha a correspondência entre Georges Urbain et Arrhénius aquando do escândalo Langevin-Curie.

Em 1895, ao mesmo tempo que exerce as suas funções na ESPCI, Urbain trabalha ainda no laboratório de química orgânica da Faculdade de Ciências dirigido por Charles Friedel ao mesmo tempo que é professor de física e de química

* Université Paris X, Nanterre

na Ecole alsacienne de Paris. Friedel é um antigo aluno do célebre químico francês Charles Adolphe Wurtz que fazia parte da rede de químicos alsacianos que haviam migrado para Paris depois da invasão da Alsácia pelo império prussiano. Tal como o seu mestre, Friedel é um químico atomista e embora as suas investigações se concentrem sobretudo em química orgânica, ele acolhe no seu laboratório jovens investigadores que trabalham em campos tão diversos como a piezo electricidade (caso de Pierre Curie) ou das Terras Raras (caso de Georges Urbain). É no laboratório de seu mestre Charles Friedel que Urbain prepara a sua tese de doutoramento sobre as Terras Raras defendida em 1899.

Depois da defesa da tese, Urbain entra para o laboratório de investigação da Compagnie générale de l'électricité, onde permanece até 1904. De retorno à vida académica, Georges Urbain é nomeado sub-chefe de trabalhos em electroquímica na Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles e, em 1906, obtém o cargo de professor de Química Analítica na Sorbonne. Dois anos mais tarde, é nomeado Professor de Química Mineral, posto que ocupará até falecer.

Urbain tem sem dúvida um início de carreira promissor. Bem aceite pela comunidade científica francesa, ele é posteriormente galardoado com títulos e cargos. Contudo, a honra maior é sem dúvida o reconhecimento pela comunidade científica internacional como um dos grandes especialistas no domínio das Terras Raras. A sua reputação internacional é ainda acrescida pelas várias nomeações ao prémio Nobel de Química.

O Panorama das Terras Raras por volta de 1895

As primeiras investigações no domínio das Terras Raras foram efectuadas pelos químicos mineralogistas suecos com o objectivo de desenvolver a extracção minéria nesse país. Desde meados do século XVIII até 1840, só cinco Terras Raras haviam sido identificadas graças aos trabalhos de Klaproth, Ber-

zelius, Hisinger, Gadolin e Mosander : os óxidos de Ítrio, de Cério, de Térbio, de Érbio e de Lantânio, obtidos com alguma impureza. A procura de um maior grau de pureza mobiliza todas as técnicas existentes na Química Analítica. Decompor, identificar, denominar e classificar passam a ser as palavras de ordem nos grandes centros de investigação por toda a Europa.

A dificuldade da separação dos elementos das Terras Raras reside no facto possuírem propriedades muito similares o que implica uma separação extremamente difícil, por vezes mesmo impossível. Por essa razão, muitos elementos descritos na literatura química foram mais tarde reconhecidos como sendo misturas de elementos. O isolamento das Terras Raras só pôde ser realizado graças à persistência dos químicos que lhes consagraram milhares de horas a recrutar as misturas contendo vários elementos. Contudo, este método sofria ainda de uma deficiência : apesar dos elementos poderem ser isolados devido às suas diferenças de solubilidade, a sua verdadeira identificação e caracterização correcta só era possível através do desenvolvimento de métodos espectroscópicos e de medidas de pesos atómicos precisas.

Uma outra dificuldade relativamente às Terras Raras foi a integração destes elementos nos sistemas de classificação dos elementos químicos por ordem crescente de pesos atómicos. Estes corpos encontrando-se em misturas inextricáveis, tinham ainda a particularidade de existirem na Natureza em quantidades ínfimas que, por vezes, só traços da sua presença eram detectáveis¹. Ora, esta característica implica uma dificuldade suplementar para efectuar medidas dos pesos atómicos. Daí que integrá-los nos sistemas de classificação baseados nos pesos atómicos foi uma tarefa muito difícil, quase impossível. Mendeleyev (1834-1907), como outros químicos, hesitou em colocar estes elementos na Tabela Periódica.

A questão das Terras Raras representava, nesta época, um problema extremamente complexo. Na História dos elementos químicos poucas investigações

se demonstraram tão longas e tão confusas que requereram não só muitas tentativas falhadas assim como exigiram uma grande obstinação por parte dos químicos. Por exemplo, entre a descoberta da primeira e da última Terra Rara decorreram 112 anos e o Didímio, por exemplo, foi considerado durante 46 anos como sendo um elemento, quando na realidade era uma mistura de Neodímio e de Praseodímio.

A espectroscopia entra em cena

Um avanço decisivo nesta longa marcha produz-se entre 1880 e 1890 graças ao controle de uma nova técnica de análise : a espectroscopia, que veio oportunamente permitir observar a evolução dos fraccionamentos das misturas naturais contendo estes elementos. A História das Terras Raras é portanto inseparável do desenvolvimento da análise espectral.

O recurso à espectroscopia utilizada com o objectivo de estudar as Terras Raras aparece apenas quando os princípios desta nova técnica foram bem aceites pela comunidade dos químicos, o que levou ainda algumas décadas. A novidade desta técnica, a falta de teoria explicativa e a enorme quantidade de riscas observadas experimentalmente ao espectroscópio alimentavam o cepticismo. Além disso, grande era a panóplia de falsos elementos descobertos pelos espectros: por exemplo, Marc Delafontaine anuncia, em 1878, a descoberta de um novo elemento, o Decépio, aquando de uma das suas experiências no espectro de absorção do Didímio, quando constata que, neste último, havia uma parte que absorvia e outra que não revelava qualquer absorção.

Os interesses comerciais ligados às Terras Raras são de importância secundária, por volta de 1900. As motivações que inspiram as primeiras investigações sobre as Terras Raras parecem estar directamente associadas com os objectivos da química analítica, ao contrário de certos outros elementos para os quais os objectivos comerciais ou militares eram primordiais. No relatório de Albin Haller sobre a secção de química da Exposição Universal de 1900 em Paris, os

cristais das Terras Raras só são referenciados como curiosidades científicas e mostrados ao público pela sua beleza e sua raridade.

São estes problemas tortuosos que Urbain vai tentar resolver com uma coragem surpreendente. Consciente das deficiências dos tratamentos que se usavam no momento em que inicia as suas investigações e das imprecisões dos métodos gerais de trabalho associados à falta de clareza quanto à definição experimental de elemento químico, Urbain demonstra um enorme talento de experimentador que lhe permite inovar nas técnicas de separação dos elementos das Terras Raras. Posteriormente, entre as duas guerras mundiais, Urbain desenvolve uma reflexão profunda, quer filosófica quer científica, sobre a noção de elemento químico directamente proveniente das suas investigações sobre estes elementos.

Em seguida, pretendemos descrever concisamente o procedimento das experiências de Georges Urbain a fim de caracterizar um estilo de química que lhe é particular e que resulta nomeadamente do seu conhecimento tácito adquirido do contacto diário com estes elementos.

As primeiras investigações

Os primeiros trabalhos de Georges Urbain realizados no domínio das Terras Raras são inspirados pela publicação de um artigo publicado por Paul Schützenberger e Octave Boudouard sobre uma substância indecomponível, cujo peso atómico era próximo de 97.

Urbain recusa-se a aceitá-la como sendo uma nova substância argumentando que as provas fornecidas pela espectroscopia e a constância do peso atómico não poderiam de forma alguma, por si só, considerar esta substância como um corpo simples. Mais ainda, na sua reflexão sobre os limites de fraccionamento, Urbain concluiu que uma fracção inseparável que permite manter constante o seu peso atómico não pode ser considerado como um critério suficiente para admitir a existência de uma nova Terra.

No seu primeiro trabalho, Urbain utiliza a mesma técnica e idênticas areias monazites que as de Schützenberger e Octave Boudouard. Urbain confirma os resultados destes químicos. Durante as suas investigações, Georges Urbain descobre que entre os muitos sais utilizados, os sulfatos de etilo formam sais eficazes para o fraccionamento das Terras Raras. Estes sais obtinham-se facilmente pela decomposição dupla entre os sulfatos ítricos e o sulfato de etilo de Bário. Urbain começa então a trabalhar sobre esta substância. O seu objectivo era descobrir a sua natureza e verificar se o peso atómico era de facto 97. Foi nesta altura que Urbain começou a pensar em realizar a separação da série das Terras Raras.

Urbain passa a aplicar os sulfatos de etilo às Terras ítricas das areias monazitadas. Os resultados obtidos por este método de fraccionamento são bastante superiores aos resultados de Schützenberger e Boudouard obtidos pela pirogenação dos nitratos ou ainda dos acetilacetatonatos utilizados também por Urbain.

Segunda etapa – o elemento separador : o trunfo de Georges Urbain

Os fraccionamentos permitem obter os sais isomorfos puros das terras raras, mas não impedem a formação de fracções intermediárias que têm de ser desperdiçadas devido à persistência da contaminação de umas terras pelas outras. Por essa razão, as separações não podem ser quantitativas. Isto significa que era impossível determinar a quantidade de um elemento numa mistura antes de se efectuar a separação. Urbain e Lacombe inventam então uma estratégia para transformar, em alguns casos, os métodos aproximativos em métodos quantitativos e portanto obter separações rigorosamente quantificadas.

Se pretendemos separar dois sais de elementos e se intencionalmente juntarmos um terceiro sal cuja solubilidade seja intermédia, ter-se-á no final dos fraccionamentos dois tipos de misturas : umas fracções contêm o sal menos solúvel e o elemento separador e as outras

contêm o sal mais solúvel e vestígios do elemento separador. Por conseguinte, não teremos isolados os dois sais que nos propomos separar. Todavia a estratégia consiste em recorrer a um procedimento que permita retirar facilmente o sal adicionado à mistura inicial que se encontra agora a contaminar os sais das terras raras já separados. No final, obtém-se deste modo uma grande quantidade dos dois sais separados sem estarem contaminados um com a presença do outro. Se, posteriormente, se dispuser de um método que permita facilmente remover o elemento separador, obter-se-ão no final dos fraccionamentos, os dois sais isentos de contaminantes.

Os sais que Urbain utiliza como elemento separador são os sais de sulfato e de nitrato de bismuto. Estes sais isomorfos dos sulfatos ou dos nitratos das Terras Raras, intercalam-se precisamente entre o Samário e o Európio, o que permite uma separação quantitativa destes dois elementos.

Porém, a utilização deste modo operativo para a separação dos sais das Terras Raras – elemento separador – era bastante longo e fastidioso: era necessário não só adicionar uma grande quantidade de nitrato duplo de magnésio e de bismuto à mistura de nitratos duplos de magnésio das Terras Raras como também várias cristalizações fraccionadas repetidas dia após dia, muito lentas, o que requeria alguns meses de trabalho.

Terceira etapa : A fosforescência catódica das Terras Raras : outra técnica utilizada ao serviço das Terras Raras

A fosforescência das Terras Raras foi decisiva para determinar se o elemento detectado se encontrava no estado puro ou se se encontrava contaminado pela presença de traços de outros elementos. Se o elemento não emitia fosforescência, poderia ser considerado como puro. Urbain utiliza frequentemente esta técnica para avaliar a pureza dos elementos obtidos através dos seus fraccionamentos, uma técnica que podia ser utilizada uma vez que se solucionara a polémica sobre o fenómeno relativo à fosforescência que havia oposto W.

Crookes e Lecoq de Boisbaudran. Crookes defendia que a fosforescência era característica de um elemento enquanto que Lecoq de Boisbaudran defendia que a fosforescência caracterizava a existência de misturas. Esta questão estava resolvida para as soluções mas continuava a levantar problemas quando se tratava de misturas de sólidos.

Urbain encarrega-se então do estudo da fosforescência das misturas sólidas. Ele pôde assim completar a obra de Lecoq de Boisbaudran graças à riqueza dos corpos que isolou pelos seus próprios meios. Ele conseguiu, por exemplo, simular o fenómeno da contaminação. Misturando convenientemente vários corpos puros de modo a reproduzir as misturas intermediárias dos fraccionamentos, enuncia a lei empírica do óptimo da fosforescência, verificada com vários fosforogénios simultâneos. Este trabalho só foi possível graças à colaboração com Scal.

Este estudo sobre a fosforescência das Terras Raras desacreditou definitivamente a teoria de Crookes dos meta-elementos. Por outro lado, o estudo também demonstrou que o elemento Victório proposto por Crookes era o Gadolínio, um elemento já conhecido e não um elemento novo.

Urbain concluiu igualmente que as Terras Raras em estado de pureza têm fosforescências extremamente baixas e que o fenómeno da fosforescência se deve sempre à presença de um fosforogénio existente em pequena quantidade.

A aplicação desta lei às Terras Raras constitui um teste de pureza para os elementos isolados.

Quarta etapa : o magnetismo das Terras Raras

Na época de Urbain, dispunham-se de espectros e de medidas de pesos atômicos para identificar os elementos das Terras Raras, bem como dos elementos em geral. Urbain, que colaborava com Paul Langevin e Pierre Curie, conhecia os trabalhos sobre o magnetismo deste último e teve a brilhante ideia de utilizar o magnetismo como novo meio de identificação dos referidos elementos. Ur-

bain e Jantsch, um dos seus colaboradores, mostraram, em 1908, que a susceptibilidade magnética dos óxidos das Terras Raras à temperatura ambiente pode ser representada em função do peso atômico destes elementos, através de dois ciclos bastante acentuados. O paramagnetismo das Terras Raras constatado por Urbain, levou-o a estudar esta propriedade. Um elemento paramagnético pode porém reagir e formar uma

Figura 1 Balança magnética utilizada por Georges Urbain para medição dos coeficientes de magnetismo das terras raras

molécula que não seja paramagnética. Todavia, as Terras Raras apresentam geralmente um paramagnetismo mesmo nos sais onde elas se encontram.

As hipóteses de Urbain sobre as medidas de paramagnetismo das Terras Raras procedem directamente dos trabalhos de Pierre Curie e de Stephen Meyer. Este último descrevera como os coeficientes de magnetização para cada elemento são facilmente mensuráveis. Dispondo então do aparelho de medição que havia sido construído por Pierre Curie e por Cheveneau, Urbain decidiu aplicar esta nova técnica às Terras Raras. Cheneveau era um excelente

construtor artesanal de aparelhos de medições físicas.

Os resultados destes trabalhos levaram, contudo, a uma controvérsia com Stephen Meyer, físico em Viena. Com a ajuda de um dos seus alunos, Urbain obtém com elevada precisão valores de coeficientes de magnetização das Terras Raras e constata então que nem todas as Terras Raras são paramagnéticas como Stephen Meyer havia enunciado, mas que algumas eram diamagnéticas. Esta nova técnica revela-se de uma enorme utilidade no estudo das Terras Raras. A diferença de valores entre os parâmetros em estudo – coeficientes de magnetização e pesos atômicos – de duas Terras Raras é enorme. Por exemplo, enquanto que para as duas Terras Raras, a relação entre os valores de dois coeficientes de magnetização podem ser da ordem de 1 para 6, as diferenças de valores de medidas de pesos atômicos de dois elementos contíguos na Tabela Periódica podem variar de cerca de 1 u.m.a., o que é extremamente pouco sensível para determinar o grau de pureza de um elemento.

Este novo método de análise é muito vantajoso uma vez que é simples e rápido. Enquanto que a determinação do peso atômico requer cerca de uma dezena de dias de intenso trabalho, a determinação de um coeficiente de magnetização leva somente cerca de um quarto de hora. Esta nova técnica apresentava ainda outra vantagem de um ponto de vista prático : além de permitir medir os coeficientes de magnetização dos fraccionamentos à medida que estes se efectuavam, esta técnica permitia saber quais os elementos que se encontravam misturados, já que as propriedades magnéticas dos elementos são aditivas. Assim, a descoberta do magnetismo das Terras Raras permitia realizar medidas quantitativas devido a este fenómeno. Foi assim aliás que Urbain suspeitou da existência do Céltio². De facto, um exame minucioso ao espectro de arco deste elemento revelou a existência de um conjunto de linhas finas que Urbain não pôde associar a nenhum elemento previamente descrito na literatura.

Conclusão

Através dos seus trabalhos, Georges Urbain impôs-se como o “papa” da química das Terras Raras. Tais fastidiosos trabalhos realizados durante mais de 15 anos, permitiram-lhe isolar o Lutécio, o Itérbio e, segundo Urbain, o Céltio. Porém, teve de enfrentar várias querelas com alguns cientistas seus contemporâneos: por exemplo, com Auer von Welschbach, a polémica incidiu sobre a descoberta do Lutécio enquanto que com D. Coster e Von Hevesy a disputa centrou-se sobre a descoberta do Háfnio.

A separação dos elementos das Terras Raras permitiu-lhe ainda descrever todas as características do Európio, do Gadolínio, do Disprósio e do Térbio e simultaneamente medir os pesos atômicos destes elementos com uma precisão nunca obtida anteriormente. Deste modo os elementos foram imediatamente inseridos na Tabela Periódica o que lhes conferiu finalmente um estatuto oficial no quadro da ciência internacional.

Os trabalhos de Georges Urbain e o tipo de química realizado estão sem dúvida circunscritos na grande tradição da química dos elementos enquadrada nos programas de investigação do século XIX. É uma química experimental que exige grande destreza e perícia manual por parte dos químicos, dando assim ênfase às aptidões dos químicos como experimentadores em detrimento das especulações teóricas.

A química das Terras Raras desenvolvida por Urbain mobiliza imenso o *savoir-faire*, muita destreza e habilidade. É um tipo de química que impõe uma repetição infinita dos mesmos procedimentos, exige uma paciência extraordinária e uma vontade infalível. Como vimos, era necessário ter uma espécie de sensibilidade e de habilidade manual, uma vez que o controle dos fraccionamentos entravam em jogo com a intuição do autor. Deste ponto de vista, uma ressalva deve ser feita entre as técnicas de fraccionamento e as de controle dos mesmos. Enquanto que o método de fraccionamento tem as suas raízes no século XVIII, o controle, implicando a utilização das medidas dos pesos atômicos e da es-

pectroscopia, obriga ao recurso de técnicas recentes. Urbain pode ainda ser considerado como um maestro na inovação experimental: concebeu aparelhos como a balança para efectuar medidas de pesos atômicos; aperfeiçoou os métodos de separação por cristalização fraccionada; «domou» a espectroscopia, inventou a técnica astuciosa do elemento separador; e soube mobilizar o magnetismo e os instrumentos disponíveis a seu redor. Este tipo de trabalho não conduz certamente a resultados teóricos fundamentais explicativos de fenómenos mas antes permite uma crítica sobre as vantagens e os inconvenientes da utilização de cada método, enfim um tipo de química que conduz à formação de uma cultura de experimentação.

Mas quem pode afinal beneficiar desta cultura experimental?

Os trabalhos de Georges Urbain inscrevem-se no quadro de trabalhos meramente académicos e de investigação fundamental. No início do século XX, as Terras Raras não parecem representar grande interesse para a Indústria. Às pequeníssimas quantidades disponíveis destes elementos na Natureza, juntava-se ainda o facto de não haver aplicações industriais. À excepção do Tório utilizado na iluminação, embora ambíguo relativamente à sua inserção na família das Terras Raras, estes elementos inicialmente só interessavam à indústria devido ao facto de acompanharem sistematicamente os minérios ricos em Tório e de constituírem um problema para a purificação deste elemento. Só passados alguns anos é que certas ligas utilizadas na iluminação começaram a empregar os elementos das terras raras, verificando-se que aumentavam a duração da incandescência das ligas e, consequentemente, aumentavam o rendimento da iluminação.

O paradoxo associado aos elementos das Terras Raras reside no facto que a aplicação destes elementos está relacionada com as impurezas nelas contidos, enquanto que os trabalhos de Urbain visam precisamente o desembaraço dessas impurezas destes elementos, ou seja, os trabalhos de Urbain inserem-se

numa visão de «química de pureza», tal como os trabalhos de Marie Curie.

Mais tarde, durante os anos 1930, Urbain será em França, tal como o físico Jean Perrin, um dos grandes defensores da química pura contra a química aplicada. Se a química pura visa a obtenção de conhecimento científico sem ter em perspectiva as aplicações imediatas, a química aplicada visa, por seu lado, que todos os programas de investigação devem ter um objectivo de aplicação concomitante. Contudo, o aspecto contraditório da política defendida por Georges Urbain reside no facto de que foi nesta década que começou a aplicação industrial das Terras Raras. Urbain virá posteriormente a dirigir a produção metalúrgica destes elementos em estado metálico puro.

O que é que este tipo de química traz então à ciência académica? A química dos elementos, tal como Urbain a pratica, mobiliza pouca teoria. O único guia teórico das suas investigações é a lei periódica de Mendeleyev e quanto à teoria atômica necessária para os seus trabalhos, o peso atômico é suficiente. O único resultado teórico que Urbain obtém a partir das suas investigações é uma lei geral – a lei de seriação – que obtém a partir dos milhares de fraccionamentos efectuados. Esta lei pode assim ser considerada como um instrumento de trabalho que permite antecipar o reconhecimento de um elemento mesmo antes dos fraccionamentos, ou seja, só tem um carácter de previsão.

Pontos de vista sobre a filosofia da ciência

A obra de Georges Urbain suscita uma verdadeira reflexão epistemológica sobre os conceitos de elemento químico e de corpo simples. Neste sentido, a investigação sobre as Terras Raras completa a obra de Mendeleyev. Para o químico russo, o conceito de elemento distingue-se do conceito de corpo simples devido ao carácter abstracto do primeiro. Enquanto que ao elemento se associava a concepção metafísica de espécie química à qual correspondia um peso atômico para o individualizar,

ao corpo simples correspondia a molécula real. Para os corpos simples é necessário atribuir uma característica física: os espectros, segundo Urbain, são característicos da existência dos corpos simples. A distinção entre estes dois conceitos, aliás o único eco de Mendeleev em França, enriquece o trabalho experimental de Urbain. A utilização de novas estratégias como a do elemento separador ou mesmo as novas técnicas que permitiam seguir a evolução dos fraccionamentos, como é o caso da espectroscopia e do magnetismo, produzem e reforçam esta distinção. Urbain insere-se nesta corrente de filosofia da química e a sua reflexão renova a distinção entre o elemento químico e o corpo simples.

II

No intuito de isolar, caracterizar e inserir os elementos na Tabela Periódica de Mendeleev, Urbain recorre à instrumentação e técnicas disponíveis no meio académico onde estava inserido. Uma característica dos trabalhos de investigação de Georges Urbain é a mobilização da comunidade científica local. O mundo da ESPCI é um terreno favorável à troca de ideias, de equipamentos ou ainda de reagentes entre os investigadores. Neste sentido, a ajuda que Georges Urbain concede a Marie Curie, quando lhe empresta as amostras puras das suas Terras Raras, é mais tarde retribuída por esta, pelo empréstimo da balança magnética concebida pelo casal Curie. A balança servia para medir os coeficientes magnéticos das Terras Raras, como já foi mencionado. O estilo de química de Georges Urbain é muito similar ao trabalho de investigação de Marie Curie. Ambos utilizaram recristalizações fraccionadas para isolar os elementos e os espectros para verificar a presença e a pureza desses elementos no decurso dos fraccionamentos. A utilização das mesmas técnicas ilustra bem um estilo francês de química do início do século XX, centralizado no conhecimento dos elementos e mobilizando os recursos da física e da instrumentação posta ao serviço da Química. O elemento é mais importante do que o átomo, não só porque deste modo se

preenchiem as casas vazias da Tabela Periódica e, portanto, se completava o conhecimento das entidades materiais do programa Mendeleeviano, mas também porque se previam eventuais utilizações destes elementos na indústria.

III

Iniciados no Laboratório de Friedel na Sorbonne e continuados durante uma boa parte da sua vida, os trabalhos de investigação de Georges Urbain têm sentido num quadro académico ainda mais vasto. Urbain encontra-se inserido numa rede internacional de químicos que têm a preocupação de isolar ou de caracterizar os elementos. Os exemplos são múltiplos: as análises de espectros de arco realizadas por Eberhard em Potsdam, os espectros de raios X obtidos por Moseley em Oxford das amostras das Terras Raras de Urbain ou ainda a utilização de sais de nitratos e de sulfatos de bismuto como sais isomorfos dos sais das Terras Raras, como Bôdman preparara em Uppsala. A medição dos coeficientes magnéticos utilizados por Urbain é uma técnica inspirada nas medidas que Stephen Meyer efectuava em Viena sobre as amostras de Rádio para detectar o seu nível de pureza.

É devido à cooperação neste programa de investigação de dimensão internacional que Urbain adquire a reputação e legitimidade para as controvérsias que terão lugar posteriormente. Urbain inicia os seus trabalhos de investigação por volta de 1896, no quadro da química experimental do século XIX. Esta química bastante preocupada com o desenvolvimento de técnicas experimentais que permitissem o isolamento, a classificação dos elementos ou ainda a síntese de novos compostos, não dispunha de meios teóricos eficazes para conceber teorias sólidas que explicassem bem os fenómenos químicos. Em química mineral, a teoria de coordenação de Werner e a teoria da dissociação electrolítica de Arrhenius constituíam os grandes suportes teóricos da química inorgânica nessa época. Com a chegada das novas teorias da física e nomeadamente com o desenvolvimento da física quântica, novas teorias vão surgir na

Química. Até cerca de 1920, químicos como Lewis e Langmuir vão desenvolver o conceito de ligação química covalente, com grande utilidade para o estudo dos mecanismos das reacções químicas durante os anos trinta. Também nesta época, a escola de Bohr em Copenhaga desenvolve o modelo da estrutura atómica com base nas interpretações quânticas de Planck e de Einstein. Para a distribuição dos electrões nas orbitais atómicas recorreu-se aos trabalhos de Moseley sobre o núcleo atómico para determinar o número de electrões de um átomo. É também devido aos trabalhos de Moseley que os elementos passam a ser inseridos na Tabela Periódica pelo número atómico e não pela massa atómica.

Esta profunda revolução, que se fez sentir primeiro na Física e depois na Química, implicou a substituição dos velhos paradigmas da ciência do século XIX pelos novos paradigmas científicos da ciência do século XX. Assim, «a química de pureza», tal como os químicos do século XIX a desenvolveram e praticaram, deixou de ser suficiente para interpretar os novos fenómenos físicos. A radioactividade, a espectroscopia e a descoberta do electrão necessitaram de hipóteses audaciosas subjacentes ao desenvolvimento das teorias de estrutura atómica e da reactividade química. Se a química de «pureza» se revelou um programa de investigação bastante fecundo, o facto é que no início do século XX eram as novas teorias da física quântica que passaram a constituir o núcleo duro da ciência normal realizada em Química.

Mas como é que Urbain vai reagir a toda esta revolução científica que alterava por completo os fundamentos teóricos em que se apoiava para realizar os seus trabalhos científicos? Como é que interpreta a chegada das novas teorias químicas que implicam novos programas de investigação caracterizados pela concepção de novas teorias químicas?

IV

Se os trabalhos de Urbain foram reconhecidos internacionalmente como demonstram as várias nomeações para o

prémio Nobel, inúmeras eleições para academias científicas ou ainda os múltiplos convites para proferir palestras quer em França quer no estrangeiro, o facto é que Urbain permaneceu sempre como sendo considerado um químico do século XIX. Até à sua morte em 1938, e durante a década dos anos trinta, altura em que vai conceber a sua teoria de coordenação, Urbain não aceitou nem a moderna teoria atômica nem o papel do electrão na ligação química. As hipóteses teóricas sobre a estrutura atômica levaram Urbain a considerar o modelo atômico como fruto da imaginação dos cientistas e a designar o átomo como sendo uma obra de arte. Esta atitude singular desperta um vivo interesse para a História da Química, uma vez que tal atitude reflecte a sua concepção de ciência adquirida no decurso dos seus trabalhos sobre as terras raras e reflecte também a sua concepção filosófica sobre a ciência. Vejamos então como é que podemos interpretar a atitude *tão suis generis* de Urbain.

Em primeiro lugar, Urbain é um químico mineralogista. Na química inorgânica como se sabe a explicação das ligações químicas através das ligações iónicas é muito frequente. Por outro lado, a teoria de coordenação dos complexos de Werner permitiu um enorme progresso explicativo na química inorgânica através do desenvolvimento de conceitos tais como a valência primária e secundária. Além disso, nesta teoria, a formulação de conceitos de estereoquímica foi ainda muito importante para explicar certos fenómenos de isomeria. Numa época em que a unificação das doutrinas existentes vai ser feita a partir da química orgânica, a posição antinómica de Urbain em pretender constituir uma química monolítica a partir da química inorgânica parece justificar-se pela sua formação neste domínio. Todavia, a recusa de Urbain em aceitar a estrutura interna do átomo e o papel do electrão na ligação química, é muito mais difícil de interpretar.

Urbain não trabalhou numa época de ciência normal no sentido kuhniano do termo. As alterações profundas que caracterizavam as teorias em física e em

química constituíam um problema para os cientistas devido à época de crise e à grande incerteza das hipóteses.

A recusa de Urbain em aceitar as novas teorias resulta do aparecimento de várias contradições internas à própria teoria e que para ele eram inconcebíveis. Os postulados de Bohr, por exemplo, encontravam-se no centro da argumentação de Urbain para não aceitar a validade da nova teoria atômica já que achava inopinável admitir-se que os electrões circulavam à volta do núcleo atômico sem lhe caírem em cima.

Mas se, no início do século, a recusa em aceitar as novas teorias podia estar relacionada com o facto delas serem consideradas como incipientes e ineficazes, mais tarde, durante a sua carreira universitária, esta rejeição parece revelar-se mais do ponto de vista da subjectividade que da incomensurabilidade do novo paradigma da ciência. A teoria atômica de Bohr não tinha invalidado por completo os conhecimentos herdados do século XIX. Ao contrário, a adequação a teorias de valência ou da ligação química ou ainda a predição de resultados experimentais a partir da teoria de Bohr acentuaram a validade do novo paradigma da química que resultava desta teoria.

Pouco depois do seu aparecimento em 1913, a teoria da estrutura atômica de Bohr começou a dar provas da sua validade devido à enorme capacidade em interpretar os fenómenos espectrais. Contudo, o objectivismo irrefutável desta teoria só aparece no início dos anos 1930, depois da querela entre a escola de Copenhaga e a escola de Urbain relativamente à descoberta do Háfnio. A partir de resultados empíricos, Urbain defende ter descoberto um novo elemento, o Céltio, que é preterido pela escola de Copenhaga. A previsão da descoberta deste elemento nos minérios de Zircónio e não nos minérios ricos em elementos das terras raras é quase sempre utilizada pelos adeptos da escola de Bohr para demonstrar a validade da teoria em detrimento das concepções empíricas da escola de Urbain. A previsão da descoberta deste elemento conferiu um elevado grau de veracidade à teoria

de Bohr. Além disso, o princípio de emparelhamento dos electrões (*aufbau*) nas orbitais atômicas revelou-se ainda mais revolucionário porque implicou uma redefinição dos elementos pertencentes à família das terras raras. O Céltio [Háfnio], que Urbain pensara ter descoberto, foi refutado pela teoria de Bohr como elemento não pertencente às Terras Raras, ao contrário do defendido por Urbain. Foi nesta altura que os elementos das Terras Raras passaram a ser designados de Lantanídeos devido à semelhança da estrutura atômica e das propriedades físico-químicas com o átomo de Lantânio. Porém, a não aceitação desta teoria revela a incongruência do pensamento de Urbain. Uma vez que, para Urbain, a previsão é o carácter mais nobre de uma teoria, a descoberta do Háfnio revela um aspecto paradoxal no pensamento deste cientista.

Em segundo lugar, o estudo deste caso deve ser acompanhado de uma análise do estatuto de ciência, de teoria e de hipótese, por parte de Urbain. As suas concepções filosóficas sobre a ciência parecem ser uma razão importante para a não aceitação das novas teorias. Se, como já se disse, o trabalho realizado por Urbain requeria muito pouca teoria explicativa, na verdade, Urbain atribuía pouco valor às teorias científicas levando-o mesmo a desconfiar destas.

Tal como para Pierre Curie, Duhem ou Poincaré, as teorias são consideradas como meros instrumentos de trabalho. Elas servem para aliviar o esforço intelectual e para acomodar o máximo de resultados experimentais sob um mínimo de leis possíveis. Além disso, o valor das teorias era estimado em função do grau de previsão das mesmas. Numa época de grandes revoluções científicas, caracterizada por um elevado grau de incerteza associado às teorias químicas, Urbain adopta uma atitude de legítimo cepticismo. Do ponto de vista epistemológico, Urbain não procura a explicação última dos fenómenos. As teorias para ele não têm um valor explicativo; elas são consideradas como ferramentas de trabalho utilizadas na investigação. As teorias são modelos que nos dão uma descrição racional do mundo inteligível,

mas não nos permitem ter um acesso à verdade devido ao aumento de dados contingentes obtidos a partir da observação e da experiência. Para Urbain, o valor das teorias científicas é muito próximo do de Feyerabend : Tudo é bom! Desde que as teorias se articulem bem com os dados de observação, no sentido mais indutivista e que as previsões de novos fenómenos resultem dessas mesmas teorias, no sentido mais dedutivista, então não há qualquer incoerência nem conflito que levem o indivíduo a rejeitar essa teoria. Quanto às hipóteses, elas são consideradas necessárias pois só elas conseguem renovar a ciência através do seu carácter ousado e impulsivo: evitam a caducidade da ciência regenerando-a com novas expectativas. Porém, é preciso precaver o carácter utopista das hipóteses e ter presente que as teorias científicas não são definitivas. Esta concepção sobre a ciência associada ao projecto científico pessoal de Georges Urbain parece estar subjacente às suas tomadas de atitude relativamente às novas teorias da química.

Do ponto de vista dos critérios da falsifiabilidade popperiana, os trabalhos de Urbain tiveram algumas contribuições nesse sentido. Para Popper, a ciência avança cada vez que uma teoria é considerada falsa e é substituída por uma nova teoria que, durante um certo intervalo de tempo é aceite como verdadeira. A falsifiabilidade dum conhecimento científico corresponde à propriedade de o podermos invalidar. A substituição da teoria dos meta-elementos de Crookes pela teoria do Ótimo da fosforescência elaborada por Urbain corresponde ao critério de falsifiabilidade de Popper. Urbain demonstra que, com a sua lei do Ótimo da fosforescência, os meta-elementos de Crookes são na verdade misturas de dois ou mais corpos. Estes trabalhos porém não permitiram distinguir entre elemento e corpo simples. Esta incapacidade é inerente aos próprios problemas de falsifiabilidade que permitem refutar uma conjectura, como era o caso

dos meta-elementos, mas que não permitem confirmar se a nova conjectura é ou não verdadeira.

Do ponto de vista social, apesar dos programas científicos franceses não terem incidido num novo campo que se mostrava altamente fecundo, o facto é que não são conhecidas oposições à aceitação das novas teorias quânticas. Bem pelo contrário, físicos como Paul Langevin, Marcell Boll ou ainda Louis de Broglie tiveram uma contribuição importante quer no campo da divulgação quer no campo da investigação, como foi o caso deste último. A singularidade de Urbain parece então ter fundamento numa prática social da ciência. Urbain era um químico bastante reputado no contexto académico quer francês quer internacional. Os mais de trinta anos ao serviço da química francesa na escola das terras raras e as suas funções administrativas e posteriormente políticas, facilitavam-lhe o angariamento de fundos para financiar as suas investigações. A atitude refractária de Urbain seria então justificada segundo Locke e Hume, pelo subtil contrato social que os indivíduos estabelecem com a sociedade onde estão inseridos. O indivíduo não é livre e o seu grau de liberdade decresce em função do seu grau de inserção na sociedade ou no ambiente académico. O estado ideológico de Urbain impossibilitava-o de reagir contra o método, à maneira defendida por Feyerabend. Prisioneiro das velhas estruturas psicológicas desenvolvidas durante a sua maturação, Urbain demonstrará uma enorme inércia na aceitação das novas teorias.

Contudo, os trabalhos de investigação de Urbain estão longe de ser um programa de investigação degenerescente, no sentido de Lakatos. Suplantada pela chegada da química atómica e electrónica, a química experimental foi produtiva como demonstra o número de novos elementos descobertos e os sucessos científicos subjacentes. As aplicações do Rádio em Medicina foram imediatas o que suscitou um grande in-

teresse por parte da comunidade científica francesa no que respeita ao conhecimento das propriedades químicas e físicas deste elemento. A comunidade industrial, bastante interessada por estas novas descobertas, estabelece os primeiros elos com a Indústria do Rádio.

Os trabalhos de Urbain devem antes inserir-se numa heurística positiva, no sentido filosófico de Lakatos. Isto é, as poucas contribuições teóricas de Urbain ocorrem no corpo teórico susceptível de ser alterado, uma vez que ele só trabalhou com hipóteses da cintura protectora desse corpo teórico. Urbain nunca ousou formular hipóteses audaciosas que pudessem modificar profundamente a teoria atómica da sua época. Não que a sua reflexão sobre a distinção entre elemento e corpo simples seja superficial, mas não é uma reflexão que possa alterar o núcleo duro de hipóteses científicas admitidas pelos químicos da época como era o caso da teoria de Bohr que, posteriormente, vem proporcionar e precisar esta distinção. A teoria de Bohr, por exemplo, encontra-se ao centro do corpo teórico da química da época ou seja no designado núcleo duro teórico Lakatiano. Qualquer alteração nesta teoria seria então revelador dum programa de investigação inserido numa heurística negativa. Mas se os trabalhos de Urbain se inserem implicitamente no quadro de filosofias da ciência do século XX, explicitamente, a referência que Urbain privilegia e enuncia durante toda a sua reflexão epistemológica sobre o seu projecto pessoal para a Química é a do *Cours de philosophie positive* de Auguste Comte.

Notas

1 Actualmente as técnicas de prospecção de elementos na natureza demonstram que alguns destes elementos são muito abundantes em certos minérios .

2 Hoje este elemento figura na Tabela Periódica sob o nome de Háfnio.