

Université Libre de Bruxelles

Faculté des Sciences

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

Centre d'Etudes du Développement Durable

L'efficacité énergétique et les effets rebonds

Déficiences théoriques et paradoxes pratiques

Thèse présentée par
Grégoire Wallenborn
en vue de l'obtention du grade académique de
Docteur en sciences

Juin 2015

Membres du jury :

Prof. Edwin Zaccaï (IGEAT, ULB), directeur

Prof. Tom Bauler (IGEAT, ULB), président

Prof. Pierre Lannoy (METICES, ULB)

Prof. Benoît Timmermans (Département de Philosophie, ULB)

Prof. José Halloy (LIED, Université Paris Diderot)

Dr. Isabelle Moussaoui (ICAME-GRETS, EDF-R&D)

Remerciements

Beaucoup de personnes ont été d'une aide précieuse pour mener à bien cette thèse de doctorat, personnes auxquelles je tiens à exprimer toute ma gratitude.

A tout seigneur tout honneur, je tiens à remercier intensément Edwin Zaccàï pour avoir accepté d'accompagner cette thèse et avoir orienté son cadrage vers un travail réaliste. Il a donné les impulsions quand il le fallait et a su trouvé des réserves de patience quand c'était nécessaire. Comme toujours depuis que je travaille avec lui, il m'a fait confiance, et je l'en suis infiniment reconnaissant.

Je remercie vivement Tom Bauler d'avoir accepté de s'embarquer dans cette aventure. Ses remarques ressemblent aux bières que l'on peut boire en sa compagnie : elles semblent anodines, mais elles font vite tourner la tête. Avec cependant un effet plus durable que l'alcool puisqu'elles peuvent hanter pendant plusieurs semaines. C'est grâce à lui que certaines parties de la thèse sont plus approfondies que ce que j'avais prévu initialement.

Dès son arrivée à l'ULB, Pierre Lannoy a eu la gentillesse de s'intéresser à mes travaux. Je le remercie chaleureusement pour les commentaires décisifs qu'il a formulés à diverses reprises et pour son soutien lorsque je me mettais en tête d'explorer des chemins de traverse.

Je remercie amicalement Benoît Timmermans d'être venu m'assister dans la dernière ligne droite, créant ainsi un lien inattendu avec ma thèse précédente, restée inachevée.

Toute ma gratitude va aux éditeurs et co-auteurs des articles repris dans cette thèse, en particulier Nicolas Prignot, Frédéric Klopfert et Hal Wilhite avec qui j'ai pu développer des échanges amicaux et féconds. De multiples partenaires de recherche ont joué un rôle dans la constitution du « terrain » à la base de cette thèse, notamment Catherine Rousseau, Paul-Marie Boulanger, Karine Thollier, Pascal Simus, Marco Orsini, Jeremie Vanhaverbeke, Yves Marenne et Aviel Verbruggen. Les partenaires du projet Flexipac, qui parlent chacun dans leur « ontologie », m'ont permis

également d'affiner certaines de mes idées. Diverses sources de financement ont permis à cette thèse de voir le jour : FNRS, Politique Scientifique Belge, Région Wallonne, sécurité sociale. Qu'ils en soient ici tous cordialement remerciés.

Mes remerciements vont aussi aux nombreuses personnes qui m'ont invité à participer à des séminaires et à présenter mes recherches. Je pense en particulier aux « working parties » organisées par Elizabeth Shove à Lancaster et à ses doctorants, notamment Julien McHardy, Martin Green et Stanley Blue. Et à Thomas Berns qui m'a donné l'occasion de jeter les premières bases de ce travail. Cette thèse est redevable de nombreuses discussions avec de multiples personnes, dont je ne peux donner qu'une liste tronquée : Bienne Baron, Thomas Berker, Mathieu Brugidou, Toke Christensen, Sylvie Douzou, Fabrice Flipo, Jean-François Gava, Denis Hannay, José Halloy, Nicola Labanca, Olivier Maniet, Alvise Mattozzi, Isabelle Moussaoui, Inge Røpke, Alain Tondeur, Nathalie Trussart, Gordon Walker et Alan Warde. A un moment ou l'autre, toutes ces personnes m'ont donné la conviction que j'avais quelque chose d'important à dire. Je remercie spécialement Ariane Debourdeau, présente à plusieurs moments décisifs, notamment lors de la dernière ligne droite pour la mise en page.

L'ambiance interdisciplinaire du CEDD a fortement contribué à cette thèse. Toute ma gratitude va à ceux avec qui j'ai pu avoir des échanges qui ont dépassé le cadre strict du travail : Vincent, Joël, Emilie, Léa, Hélène, Arnaud, Léonard, Krystel, René, Bono, Maura et Jérôme. J'ai une reconnaissance particulière envers Georgia qui a pu assumer nos recherches communes lorsque ces derniers mois j'étais pris par la rédaction de ma thèse. Les pongistes de l'IGEAT ont été également d'un secours utile lorsqu'il s'agissait de retrouver des forces dans la bonne humeur.

Nombreux sont ceux également qui m'ont entouré de leur affection et m'ont soutenu malgré ma présence limitée auprès d'eux : tout d'abord mon père, ma mère et ma sœur, mais aussi Alain, Anja, Chloé, David, Dominique, Gélise, Jack, Jean-Michel, Joachim, Jonathan, Laurent, Lysiane, Nathalie, Nic, Nicole, Olivier, Stéphanie et Yaël. Je remercie également mes compagnons non humains pour leur fidélité : mon chat qui s'est habitué à mes nuits blanches, mon ordinateur qui n'a presque pas été

défaillant, mon lave-vaisselle et les autres nombreuses machines auxquelles j'ai pu déléguer diverses tâches.

Je remercie très chaleureusement Michèle de m'avoir toujours soutenu dans la réalisation de ma thèse, et notamment d'avoir ces derniers mois gardé nos enfants plus souvent qu'à son tour

Enfin, toute mon affection va à Félix, Luce et Yseult qui m'ont aidé de façon déterminante à structurer mes rythmes quotidiens une semaine sur deux. J'espère que lorsqu'ils pourront lire et comprendre cette thèse, ils en trouveront les résultats obsolètes.

Sommaire

PARTIE 1 UNE ANALYSE INTERDISCIPLINAIRE DES EFFETS REBONDS ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

1. Introduction _____ **Erreur ! Signet non défini.**
2. Efficience et consommation d'énergie : un duo rebondissant **Erreur ! Signet non défini.**
3. Ecologie : minimisation de la production d'entropie et maximisation de la puissance _____ **Erreur ! Signet non défini.**
4. Technologie : machines, infrastructures et normes ____ **Erreur ! Signet non défini.**
5. Economie néoclassique : maximisation du profit et de l'utilité **Erreur ! Signet non défini.**
6. Sociologie : corps et pratiques _____ **Erreur ! Signet non défini.**
7. Conclusions _____ **Erreur ! Signet non défini.**

PARTIE 2 ARTICLES PUBLIÉS _____ **9**

- [1] How to attribute power to consumers? When epistemology and politics converge. _11
- [2] Le télégraphe, l'éther et la fée Électricité _____ 29
- [3] L'économie et la thermodynamique : analyse critique des thèses de Georgescu-Roegen _____ 57
- [4] Inégalités écologiques : analyse spatiale des impacts générés et subis par les ménages belges. _____ 73
- [5] Comment comprendre les effets rebonds dans la consommation domestique d'énergie ? Pour une socio-anthropologie des pratiques en transition _____ 97
- [6] Articulating the body in the theorizing of consumption _____ 113
- [7] Extended bodies and the geometry of practices. The unsustainable extension of our bodies _____ 137
- [8] Standardisation of practices and representations of users in the ecodesign Directive _____ 159
- [9] Les « compteurs intelligents » sont-ils conçus pour économiser l'énergie ? _____ 181
- [10] Household Appropriation of Electricity Monitors _____ 197

PARTIE 2

ARTICLES PUBLIÉS

[1] How to attribute power to consumers? When epistemology and politics converge.

in *Sustainable Consumption, Ecology and Fair Trade*, E. Zaccai (ed.) London, Routledge, 2007, pp. 57-69.

Abstract

What powers do consumers have to change their behaviours? The answer to that question depends on the definition given of consumers and the attributes that result. But the definition of consumers varies widely from one theoretical model to the next. This paper reviews different models of consumers and analyses the role and powers they supposedly have in the more general framework of the consumer society. It concludes that consumer's practices and attitudes are currently shaped by performative models of individuals, and calls for collective devices that could redistribute current relationship of powers.

1. What consumers?

Sustainable development policies assume that consumers can and will evolve towards more sustainable consumption patterns. An implicit hypothesis of changing consumption patterns is that consumers have the power to change their behaviours and lifestyles, or at least that they have relative power to do so. In the framework of sustainable development, a lot of institutions are endowed with specific power and special capacities: political institutions, law institutions (property, legislation, rules and procedures), economic institutions (monetary, finance, accounting) and techno-scientific institutions. The power devoted to consumers is however much less clear, for this power depends on a disciplinary perspective: different powers and capacities coexist and sometimes oppose each other. The definition of the consumer is political by nature, since it corresponds to different perceptions of society or of what society should be. For instance, the debate between efficiency and sufficiency reflects points of views that distribute differently powers among institutions and individuals.

Consumers are often attributed with the power to become informed, to assimilate the information they obtain and to translate it into acts. But are we not giving them too many powers? Are we not confusing *citizens'* powers with *consumers'* powers? To what theoretical model does this attribution of powers refer? The power attributed to persons depends on the definition being used, because their attributes result from such definition. And there are numerous definitions of consumption which give rise to different models of consumers. The different ways of viewing consumers give rise to as many different ways of defining them and attributing to them different capacities for action. The power attributed to consumers is therefore linked to the theoretical framework within which one works and from which research hypotheses are drawn.

To give an example, the definition of the 'green consumer' is not an easy task and depends on the theoretical view that emphasises or neglects some relations. Is a consumer green by his or her attitudes or by his or her actions? Somebody who buys ecological products can do it for other reasons than the protection of the environment (for health or money, for instance). To determine whether a consumer is ecological or not, his or her freedom to achieve an action can be a good test (Pedersen, 1999). These actions can belong to different consumption sectors (mobility, food, energy) or reveal an effort the consumer is ready to make (waste sorting, will to pay more some products for their environmental quality). If one of these options is taken, it will implicitly tell how sustainable consumption is defined. However, what is freedom in the consumption realm? Numerous constraints weigh on consumption activity: incomes, knowledge, social norms and cultural codes. These constraints explain why consumers often feel powerless when faced with environmental problems.

We might also recall that the idea of 'the consumer' is an abstraction, because the consumer is also (generally) worker, spectator, citizen and so on. All these facets form parts of the same person and breaking up an individual into these different facets is, in itself, a way of distributing powers, as I will suggest throughout this contribution. Reisch (2001) shows the different temporalities linked to the fact of being either consumer, or citizen, or worker. There is also a need to discuss not only the interrelations between consumer, citizen, person, individual, human being, but also the topic of consumption itself, which combines material, knowledge, spiritual, psychic and cultural dimensions.

The consumer (noun) is sometimes referred to as 'responsible', 'civic-minded' or 'committed' (adjectives). This suggests that a state of fact can be corrected by describing it morally, by giving it a strong personal morality. The philosophical and political question is how this 'moralization' can be

extended beyond some exemplary cases, and above all, *what principle* gives this morality any power whatsoever. Moralisation is a way to attribute power to consumers. Critiques of the consumption society are also made in assuming power to individuals in one way or another (Wilk, 2001).

At a very simple level, the power of action of an individual is defined by either external relations or internal relations. The attribution of capacities or power is the usual working of scientific theories. Based on Latour (1989) and Stengers (1993), one may say that the way a science constructs its object of study is a way of giving it *power*, a certain capacity to respond to the precise questions researchers ask. While it is obvious that the researcher's theoretical framework is crucial in determining the type of questions raised, I would also like to demonstrate that the power attributed to the object (in this case the consumer) depends upon this theoretical framework.

The way a scientific discipline defines its object of study is performative in nature; defining the consumer in a given way is tantamount to obliging him or her to behave in a given way. In other words, theories are not politically neutral. A theory is a process of qualification of certain actors, and at the same time of disqualification of others – if only because they are neglected. The definition of acts of consumption implicitly reveals their relation to acts of production: any definition of consumers also implicitly refers to a way of attributing power to the producer, because the consumer's definition indicates the producer's hold over the consumer. Inversely, Dobré (2002; see also Chapter 11, this volume) shows how the definition of consumers is important in trying to zero in on their 'power of resistance'.

In the following sections, I will analyse the different ways of defining consumers and the powers that may be consequently attributed to them. A scientific discipline is a way to exhibit certain relations and to neglect others. In this perspective, an attribute is a fundamental relationship that gives sense to the considered approach. Different inventories of theories about consumers have been done (Wilk, 2001; Shove, 2003). This contribution aims however at analysing powers attributed to consumers. Five kinds of disciplines will be analysed according to the relations attributed to the consumers: ecosystems, market, personality (internal relations), situation (external relations) and infrastructures (humans are peripheral). Vocabulary is the marker of disciplines. The following markers will be used respectively: natural resources; preferences, rational choice; attitude, behaviour; representation, practice; structures, objects. From this short list, one can see that these approaches sometimes overlap; different dimensions may be present in a given theory (as, for example, in the social psychology). It is however important to notice that power distribution differs

in each approach. The approaches described hereafter are obviously sketchy, and should be taken as a construction of contrasted points of view. McGuire (1999) has argued in favour of an epistemological perspectivism: each theory captures a part of the reality, though it misrepresents it. In order to avoid relativism, I will add a political dimension to the analysis.

2. Consumers as living beings

From a biophysical point of view, all living beings consume natural resources, whether raw materials and energy or other living beings taken in the ecosystem. From this standpoint, the contemporary problem of consumption by humans is its excessively high level, with too great a material flow. In thermodynamic terms, overconsumption is an excessive flow of matter and energy. This point of view is developed in particular by Princen (1999) in order to analyse the conceptual roots of consumption.

This approach has the merit of rooting human activity in ecosystems, and as such remains a crucial horizon of studies on sustainable consumption patterns, at least for setting material limits to it. It nevertheless fails to take into consideration the specific characteristics of the human species and notably omits all non-biophysical reasons why humans consume. Consumption is perceived as a ‘transformation of matter and energy’, and households are the units that operate this transformation of flows. Accordingly, this organic and materialistic vision of consumption reduces consumers to ‘black boxes’ through which pass flows that they deteriorate. From a biophysical point of view, consuming first and foremost means to destroy, whereas from a sociological point of view consuming means to create ties and identities.

This approach does not give much power to consumers, other than that of deteriorating ecosystems. It none the less has the merit of integrating the environment into the socio-technology system, thus making it possible to set out new conditions for needs validity. The debate on needs – determining which are ‘real’, to be distinguished from ‘false needs’ – has been around for a long time and has always taken a moral posture, But the conditions of the truth (and falsehood) of needs have changed. Today, even if needs are considered ‘real’ from the individual consumer’s point of view, they can be ‘false’ from the collective consumer’s point of view. The biophysical approach reveals the power of the ‘collective consumer’, namely the human species. The gauge of truth thus evolves as humanity extends its hold over the planetary environment.

3. Consumers as rational economic agents

Attributing power to someone is initially a fiction, but this fiction can become a reality if it is reflected in behaviours suited to the fiction. Certain definitions have a performative effect: they transform the object to which they attribute a power or a capacity for action. To some extent, this is the case with economics. Consumers are defined as rational by economic theories and in fact are invited to be increasingly rational if they wish to benefit from the ‘best rates’ available on a given market. For instance, services markets are characterised by the great variety of products in a given sector: comparing the available products requires considerable capacities for researching information and equally considerable capacities for analysing it. Consider, for instance, insurance company or mobile telephone company rates. The performative effect can sometimes be ironic: in the hope of saving 10 or 20 euros, ‘rational consumers’ can be obliged to waste hours of their time.

The radical statement that individuals are the basis of our contemporary society is partly linked to the increase in consumption. Individuals are increasingly independent of other individuals: relations to others are more and more abstract (formalised and institutionalised), while relations to objects are growing (Røpke, 1999). Consumption is thus deepening the process of consumption itself through the individuation of markets and objects. Increasingly segmented markets characterise the dynamic of consumption in our society today. This segmentation obliges consumers to learn new ‘signs’ in order to identify the products that interest them (the very rationale of labels). But this segmentation results from different models of the consumer which, by trying to tap emerging consumption trends, define and oblige consumers to position themselves (even temporarily) in one of these segments.

Based on these examples, we may observe that the attribution of cognitive capacities (rationality or faculty of recognising signs in a profusion of objects) to persons also renders the market complex. Markets are more and more a universe of signs, and that is possible only if consumers are assumed to be able to treat all this information, to decode all these signs.

In the classical economic approach, the consumer is something of a rational automaton (referred to as *Homo economicus*): fully informed, maximising his or her interests, with fixed and stable preferences, he or she makes calculated choices that are revealed through purchases and awareness of prices. The economy explains how individuals spend their financial resources, how they evaluate different possibilities and how they take purchasing decisions with the purpose of maximising their satisfaction. According to the theory of rational choice, the individual supposedly

knows all his or her needs and how to satisfy them. His or her decision is supposed to be independent of the different institutions (except the market) and to consist in a maximisation of utility within budget constraints. The consumer is sovereign in his or her preferences, and his or her choices are expressed in the elasticity of prices.

The strength of this model resides in its performative effects, including the selection of policy instruments. Since the consumer is rational, if his or her purchases do not correspond to theoretical projections, it is because he or she is poorly informed. Thus, it is crucial to give adequate information to consumers. Many implemented policy instruments are oriented towards information, since one believes that consumers' choice is based on information.

In the economic model, the main attributes given to consumers are instrumental rationality and insatiable needs for goods and services (Stagl and O'Hara, 2001). Power is however mainly devoted to economic analysis in its perceived ability to make forecasts and especially to define democracy as individual freedom. Indeed, according to this approach, nobody can tell individuals what they have to do. It is obviously a highly theoretical view, and furthermore prevents the establishment of political common aims (Norton *et al.*, 1998). The flaws of this approach are well known and have often been criticised (e.g. Siebenhüner, 1999; Niva and Timonen, 2001). This model fails to take into account a number of constraints or relations: the role of institutions and of social relations, the different temporalities and spaces (that explain diversity of preferences and their sometimes fast evolution). For instance, the assumption of self-interested behaviour is contradicted by the fact that people help each other altruistically. Social and environmental norms are also respected even though people do not benefit from them. The economic model of the consumer is thus static, failing to explain changes of preferences and of consumption patterns; it is individualistic, failing to explain why people make a commitment to collective actions; it is utilitarian, failing to take 'non-consumption' choices into consideration.

The *Homo economicus* model credits the consumer with a unique and narrow rationality which is focused on the act of buying. This act is only one instant in the process of consumption. In general, however, at least three separate roles exist in this process: the influencer, the purchaser and the user (or consumer). These three roles may but are not necessarily played by the same person. To be succinct, we could say that the definition of the influencer comes within the realm of psychology while that of the consumer comes within the realm of anthropology. These two approaches extend the notion of rationality, each with its own methods. Rationalities are plural, and psychology shows

it through internal relations, while sociology explores different situations and coherent value systems. The power of consumers is therefore made relative by placing them in situations in various contexts: psychological, social, institutional, historical, philosophical and so on. In the following sections I will examine how consumers are given internal and external attributes.

4. Consumers prompted by their attitudes

The influencers are the actors who influence buying behaviour. These ‘actors’ can be of different types: family and friends, advertising, conscious or unconscious motivations. The psychological analysis will attempt to identify the various *motivations* that underpin a given behaviour. As Jackson and Michaelis put it:

practitioners in the [economic] field have been considerably more inquisitive about the nature and origins of consumer motivations than economic theorists. New areas of inquiry such as consumer psychology, marketing and ‘motivation research’ have developed a rather rich body of knowledge – a ‘science of desire’ (Dichter, 1964) – for producers, retailers, marketers and advertisers wanting to know how to design and sell products that consumers will buy. (Jackson and Michaelis, 2003: 23)

Numerous studies try to explain environmentally responsible behaviour through the analysis of attitudes (see Rousseau & Bontinckx, Chapter 6, this volume).

Stern (1992) has developed a very comprehensive model of behaviour relative to the environment. He describes a hierarchy of eight levels of causality. The highest level is that of the most general causality: background factors that include everything related to the social situation and social relations. Level seven concerns structural and institutional factors, namely external conditions, incentives and constraints (rules, technology, convenience and rewards). Level six is related to fundamental values. Level five designates the general attitude towards the environment. Level four concerns attitudes to and standards for relevant behaviour in favour of the environment. Level three describes knowledge and beliefs specific to the same behaviour. Level two refers to the commitment to adopt such behaviour. Finally, level one designates the behaviour itself. Two things stand out in this hierarchy of levels of causality:

1. attitudes determine behaviour, but attitudes have more sway over actions if those actions are easy and not costly;
2. the individual is at the heart of the analysis, and the natural and social environment are peripheral.

The main attribute given to consumers is their attitudes, namely a relatively permanent manner in which an individual thinks or behaves when confronted with a given problem. Attitudes are set at a deeper level than opinion, less rational, and exhibit a certain endurance. Attitudes are then acquired but difficult to change.

Psychological models give more than their due to attitudes resulting either from rational intentions or from unconscious processes (of which personality is a central factor) (Pellemans, 1999). A personality is defined as an intra-attitudinal structure. If a specific attitude contradicts the behaviour related to it, one speaks of 'cognitive dissonance', because the subject is assumed to be coherent. Another important aspect of psychological studies is the formation of attitudes: whether through experience or through discourse, the acquisition of an attitude is fundamental for linking it firmly to a behaviour. Brown and Cameron (2000) suggest that to change values influencing consumption patterns, consumers' attitudes should be changed first. The definition of attitude however implies that consumers' attitudes evolve slowly.

The study of attitudes allows one to construct scales such as the New Environmental Paradigm. Attitudes cannot be observed directly. They are known through three types of responses: cognitive, emotional and behavioural. Most of the time, the measurement of attitudes is based on statements made by the individual questioned (Sabourin and Lamarche, 2005). Such statements depend in large measure, however, on the context in which they are made – whether in an individual interview, a group discussion or a poll – and the person conducting the survey defines the context in which the responses are expected. The survey creates a specific context for statements: the person surveyed is forced to express him or herself in another's words and the resources he or she can mobilise fall more within the 'citizen's' category. Thus attitudes and behaviours do not stem from the same context and may lead to considerable incoherence.

Of course, different survey methodologies seek to limit such bias, so that the invitation to speak will result in the genuine expression of the attitude or capacity of action of the person surveyed. The fact remains, however, that when consumers are defined through their attitudes and behaviours, the idea is to try to determine their underlying *motivations*. This causal model is useful for explaining one-off acts such as purchases. It is considerably less productive, however, for more complex behaviours.

The way psychology constructs the consumer is related to the fact that this discipline is fundamentally a laboratory science. Psychological devices try to expose some relations between

determined variables. As is well known, the problem of a laboratory science is to extend facts and phenomena beyond the walls of the laboratory. A way to bypass this problem is to recreate the context of the laboratory (Latour, 1989). To some extent, the shop is this context where consumers' behaviours are controlled and experimented with, even though it seems that marketing strategies are more empirical than based on laboratory results. Marketing is indeed always more powerful in contexts where the link between motivation, attitude and behaviour is simple, namely shops. Everything in a shop acts as an incentive to make this connection! Insofar as the purchaser is not as rational and well informed as the economic model assumes, marketing uses this 'deficit' to make the consumer's power respond directly to the prescription.

The psychological approach defines a consumer's power through his or her individual choices – whose rationality is more or less extended – and by his or her dispositional capacities. Therefore it includes the economic model. When behaviours and attitudes are specific, a model may be developed. When behaviours and attitudes are general, however, they have to be included in a wider context that sociology or anthropology can tackle. In this case, relation to the situation is a better explanation to the observed behaviour. Some experiments in psychology shows that dispositional capacities are more willingly attributed than situational capacities (Jones and Harris, 1967). Thus, ironically, psychology explains why individual determinants are often overemphasised, and why policy instruments are geared towards individual

5. Situations and practices

While psychology is based on laboratory work, sociology is grounded on field study. This means that different attributes and concepts are given to the objects of study. Attitudes and behaviours are variables denoting control and stability; representations and practices refer to contexts open to interpretation, since their relations are not a priori determined. It is interesting to note that questionnaires on a given subject are not organised in the same way by psychologists and sociologists. Usually the psychologist asks questions initially about attitudes and only then asks questions about behaviours, though the sociologist asks questions about practices and then questions about representations. Each would argue that he or she proceeds in this way to prevent biases. The former would say that it is easier to deceive about his or her attitudes than about his or her behaviour, and therefore attitudes have to be established first in order to prevent

‘contamination’ by previous questions. The latter would suggest that practices are more important than representations, and should consequently be collected as ‘pure’ as possible.

Defining consumers by their *practices* obliges us to study the contexts of the activities, routines and habits that shape the acts of consumption. Speaking about consumers’ practices implies reproducing the social situations in which standards are an important constraint, as well as all the other actors (Boltanski and Thévenot, 1991). Standards are of different types and all deserve to be taken into consideration. Environmentally friendly actions acquire their meaning in a context whose rules are shared by others. The consumer’s power to change consumption patterns depends on the situation, i.e. on the constraints that permit the reproduction of social practices. Practices refer to more ongoing actions than behaviours.

The concept of practice also offers degrees of freedom to consumers through ‘narratives’: consumers build their identity by articulating the beliefs and values they attach to their acts. For the anthropologist, exchange of goods and services organises the group and the diverse identities. Identities are formed through negotiation between oneself and others, and this is particularly at stake in products bought and consumed. This is also what is covered by the sociologist’s concept of ‘lifestyle’: consumers bring their different social practices into a more or less coherent whole, particularly through the way they describe them. The logic of actions can vary widely, depending on the society, culture, fashions and situations. The sociologist therefore accepts the heterogeneity and paradoxes of behaviour more readily than the psychologist.

Beck and Giddens describe the contemporary society in attributing reflexivity to systems and subjects. Power is delegated to norms as well as to the capacity to reflect these norms by individuals and institutions. Individuals construct their identity through reflection of their practices. Giddens’ (1994) theory of structuration suggests a connection between constraining structures and the competences of agents because the latter draw their dynamism from the structure’s enabling dimension in the form of cognitive and normative resources and rules. Here, the capacity of agents to act intentionally (*agency*) by relying on available resources, to bring them into play in interactions, invites us to conceive of action as an activity with its uncertainties and its potential for innovation rather than as a practice always already adjusted to a binding context. Structuration is an ongoing and reflexive process of reproduction and transformation of social practices and relations in space and in time through the duality of structure. ‘Structure is always both constraining and enabling’: it refers jointly to the concepts of constraint and capacity. Integrating a sociology of action, the

theory of structuration defines social actors as competent. Competence is understood to mean all the things the actors know (or believe), tacitly or discursively, about the circumstances of their own action and that of others, and which they use in the production and reproduction of the action. This competence underlines in particular a reflexive capacity of human actors, continuously involved in the flow of day-to-day conduct, i.e. that they have the 'capacity to understand what they do while they do it'. Yet this 'reflexivity operates only partly on a discursive level' and, in human competence, Giddens makes a distinction between discursive consciousness and practical consciousness. Discursive consciousness refers to everything 'actors are able to say, or to give verbal expression to', namely everything to which the concept of consciousness is frequently reduced. Practical consciousness, a more original concept, refers to 'all the things actors know tacitly about how to go on in the contexts of social life without being able to give them direct discursive expression' (1984: xxiii) and is not unrelated to the concept of routine. The border between these two modalities of competence is fluctuating and changing.

The interest of Giddens' theory is the elaboration of attributes both enabling and limiting, and at the same time the description of a dynamics that can make attributes evolving. Giddens thus believes that awareness of environmental problems may progressively shape individual lifestyles. From the viewpoint of a connection between practice and narrative, the consumer can find a new identity as a *citizen*. He thus may seek to reconcile in some situations his or her values and practices. This viewpoint is exploited by 'ecological modernisation', developed in particular by Spaargaren (1997). This approach gives an important role to environmental technologies and makes them more efficient. The theory does not reside in the apriorism that the more sustainable organisation of production and consumption is incompatible with capitalist organisation. The role of individuals is important but forms part of a wider system: they do not act as isolated units but as co-actors. This approach leads to a reassessment of the organisation of production and consumption from a consumer-oriented standpoint. The concept of consumer society is therefore no longer considered a starting point for a critique of overconsumption, but on the contrary is recognised as a key concept for better understanding the dynamic of industrial societies. At the level of governance, it is recognised that society can no longer be regulated uniformly from a central point but that there is a need to build horizontal forms of policy development in which the target groups take an active part by choosing and developing their own 'path' to sustainability. In conclusion, this approach is rooted in the idea of sustainable development: without calling into question the structure of

production–consumption, it develops a set of tools, among which participation and eco-efficiency are the cornerstones.

6. Ages and objects

So far I have outlined some of the main approaches that define ‘consumers’ and attribute certain powers to them. I would like to complete this review by presenting some theories that define consumers from other perspectives, namely relating to the socio-technology system or the study of objects. Objects and technology are indeed increasingly present and mediate relations between humans. Each age may be characterised by a set of techniques and objects; this infrastructure put constraints on human capacities in triggering some relations and in restraining others. Traditional relations are now replaced by relations with objects (Røpke,). It is then important to grasp this strong tendency which invites us to invest our wages in objects, and which has so many adverse effects on the environment.

The different sociological analyses of the ‘consumer society’ generally take as their starting point the observation that objects have more than a material status: they also have symbolic and immaterial dimensions. Consuming is a cultural act: we consume to set ourselves apart; we consume signs and images (of brands) as much as products and uses. With the proliferation of objects in our society, they become mediators of social relations: it is *through* objects that people enter into relations with one another. The object of consumption is two-faced: on one side it refers to a function, a certain use value; on the other it is a sign that allows distinction, membership of a social group. It is not always easy to sort out the aspects of signs of distinction and value.

If we insist on the logic of signs and symbols, we are engaged in a *differentialist* model: the consumer buys and uses goods to establish his or her universe of standards and values as distinct from those of other social groups (Veblen, 1899; Baudrillard, 1970; Bourdieu, 1979; Douglas and Isherwood, 1996). Criticism of consumer society is thus never far off: objects are no longer linked to a function or a defined need and the act of consumption is described as an alienation – a criticism Marx tied in to object fetishism. This demonstrates in any case the importance of *values*, since to consume is also to consume signs.

Along with signs of distinction or social value, objects increasingly incorporate immaterial qualities and information that require new faculties on the part of consumers. We can think here of the different signs that indicate some aspects of the processes from which the product results (e.g.

traceability, different labels) as well as the guarantees sold together with the material product. This dimension explains among others things the ever -growing product differentiation.

Many theories focus on the historical evolution of societies. Lifestyles and consumption patterns have changed profoundly in less than a century, in parallel with the entire socio-technology system. One of the most striking elements of this evolution is mobility (in particular cars) and the spatial planning that this implies. Numerous studies in the sociology of technology have demonstrated the extent to which society and technology mutually shape one another (e.g. Hughes, 1984; Callon, 1995). Accordingly, a very important variable in the framework of sustainable consumption is this flexibility. Geels and Kemp (2000) have developed the theory of technology *transition* to determine the gradual move from one technology system to another. In such a perspective, the idea is to seize opportunities to make the socio-technology system branch off into a more sustainable direction. The technological system is probably the most important variable, but also the hardest to ‘manipulate’, given that individual consumers have very little control over the evolution of the system. If we consider that behaviours and practices are determined in large part by the socio-technology system, then the consumer does not have much power: his or her behaviours depend basically on the age in which he or she lives.

Since objects underpin questions on ‘sustainable consumption’, it is interesting to move away from humans and place objects at the centre of the analysis. The difference between production as work and consumption as satisfaction of a need seems to be rooted in our anthropological structure (at least in modern times). But consumption is also production in the sense of an appropriation and domestication of products. Over and above the definition of consumer, it is therefore important to consider the definitions of the object of consumption. Do not objects, in their materiality, also have the power to define consuming acts, and therefore also consumers ? What do objects of consumption require from consumers to be appropriated? Criticisms of the economic model discussed thus far have focused on the description of the human world, but this criticism may be extended to the world of objects. In the socio-technical perspective, they are not as passive and indifferent as other models would suggest.

7. Conclusions

One way among others of developing a typology of the different studies on consumers is to consider the different types of variability of consumption choices. The choice of consumption

depends of course on many factors, but these may be grouped according to (1) consumers' *personality* and *motivations*, their attitudes and behaviours, (2) consumers' social situation, where they live, social standards, territorial constraints, and (3) the age and society in which consumers live, the socio-technology system and lifestyles. This distinction (individual, space, time) can help us to account for the different constraint systems that shape consumption. This typology is inspired by Shove (2003), and Jackson and Michaelis (2003). Table 5.1 summarises the characteristics of four ways of defining consumers and the main consequences concerning sustainable consumption.

The psychological approach is more in line with the state of the market and of the financial and economic development that goes with it: the idea is to prompt consumers' attitudes and behaviours to evolve towards a supply that would become more diverse to offer ecological products. This approach also fits in with the current marketing trend. But a well-understood sustainable consumption policy is above all a policy of demand for products that are more respectful of the environment and of socially acceptable production conditions: the sociological approach – and in particular that of ecological modernisation – allows us to envisage the development of more eco-efficient technologies and their appropriation by consumers who are mindful of the stakes of sustainable development. By comparison, economic and infrastructure-based approaches touch upon elements firmly rooted in the evolution of society and are as such harder to change, even if for that very reason they are even more crucial in nature.

Table 5.1 Four ways of defining consumers and their consequences for sustainable consumption

	<i>Automaton</i>	<i>Personalities</i>	<i>Situations</i>	<i>Ages</i>
Theories and disciplines	Economy	Psychology Psycho-sociology	Sociology anthropology	Sciences- technology- society
Consumer attributes	Rational Seeks to maximise his/her profit	Motivations Behaviours Attitudes Desires (conscious and unconscious)	Practices Narratives More or less coherent identities	Lifestyle determined relative to objects
Market	Supply and	Acting on supply	Acting on	Making the

	demand adaptation		demand	market branch off
Instruments	Information Prices	Information (marketing) Images Education	Regulations (including social norms) Empowerment of associations	Infrastructure Planning Strict norms

According to the five approaches described above, consumers are acting through what defines them: the fact of being alive; computation; attitudes; social relations; socio-technical constraints. Consumers are accordingly diversely determined: their preferences are fixed, their attitudes are stable, their being is determined by social relations and technological infrastructure. In a way, their freedom is the capacity to escape from these determinations. Freedom is the term that permits to explain the unpredictability from the point of view of the various models or theories. In this perspective, freedom of the consumer could be defined as the ability to produce his or her own subjectivity in negotiating the different relations. Freedom is not the subject of this chapter however, but rather the power attributed to consumers. Power enables consumers to act upon others or upon objects: power is a hierarchical and external relation.

Considering the current societal trends, namely deepening individualism and profusion of objects, a consumer who would want to commit him or herself to sustainable consumption has first to resist the different determinations that define him or her today; he or she has to construct his or her attitudes and preferences in a radical, exogenous manner. At the individual level, consumers appear to have relative power, through consumption choices (including non-consumption) or through appropriation and domestication of objects. At the system level however, consumers' behaviours appear to be widely shaped by social and technological structures. There is here what could be called the paradox of collective action. The individual power of the consumer gets its meaning only if other individual powers are mobilised. The individual power remains virtual as far as it is isolated. This set of powers could be actualised throughout socialisation processes or devices of collective statements. Today, politicians and associations address consumers as individuals: how can they be prompted to switch to other, more collective identities? Apart from policy instruments focused on production, different pathways to 'socialisation' are not being sufficiently explored or used: direct and overall socialisation through norms laid down by politics;

socialisation through the empowerment of civil society associations; the socialisation of consumers through objects of consumption themselves.

Markets are currently shaped by offer. How would it be possible to build devices that reveal the social demand for consumption? Isolated individuals are dependent on the offer. Social devices should then redistribute the relations between powers, for example, through NGOs or collectively organised persons. These devices would replay the relationships of the different facets of individuals: consumer, citizen and worker. In this perspective, moralisation would not come from outside (from a theoretical definition of individuals) but from the creation of values that are not pre-existing. Above all, the collective devices should be performative if ever they have an existence.

References

- BOLTANSKI L. & THEVENOT L. (1991), *De la justification.*, Paris, Gallimard.
- BOURDIEU P. (1979), *La distinction : critique sociale du jugement*, Paris, Minuit.
- BROWN P.M. & CAMERON L.D. (2000), “What can be done to reduce overconsumption?”, *Ecological Economics*, 32, p. 27-41.
- CALLON M. (1995), “Four models for the dynamics of science”, in *Handbook of Science and Technology Studies*, S. Jasanoff, G. Markle, J. Petersen & T. Pinch (eds.), Sage Publications.
- DOBRE M. (2002), *L'écologie au quotidien. Eléments pour une théorie sociologique de la résistance ordinaire*, Paris, L'Harmattan.
- DOUGLAS M. & ISHERWOOD B. (1996), *The world of goods: towards an anthropology of consumption*, London, Routledge.
- GEELS F., KEMP R. (2000), “[Transities vanuit sociotechnisch perspectief](#),” Rapport voor de studie “Transities en Transitie management” van ICIS en MERIT in opdracht van VROM tbv van NMP-4, Okt 2000, UT, Enschede en MERIT, Maastricht.
- GIDDENS A. (1984), *The Constitution of Society*, Polity Press.
- HUGHES T. P. (1987), « The evolution of large technical systems », In Bijker, T., Hughes, T. and Pinch, T. (editors) *The social construction of technological systems*, MIT Press, pp. 51 - 82.
- JACKSON T. & MICHAELIS L. (2003), *Policies for Sustainable Consumption*, A report for the Sustainable Development Commission, 20th May 2003.
- JONES E.E. & HARRIS V.A. (1967), “The attribution of attitudes”, *Journal of Experimental Social Psychology* 3, 1-24.
- LATOUR B. (1989), *La Science en action*, La Découverte, Paris.

- NIVA M. & TIMONEN P. (2001), "The role of consumers in product-oriented environmental policy: can the consumer be the driving force for environmental improvements?", *International Journal of Consumer Studies* 25, p. 331-338.
- NORTON B., COSTANZA R. & BISHOP R. (1998), « The evolution of preferences. Why 'sovereign' preferences may not lead to sustainable policies and what to do about it », *Ecological Economics* 24, p. 193-211.
- PEDERSEN L.H. (1999), "The Dynamics of Green Consumption", 1999 ECEEE Summer Study Proceedings: www.eceee.org/library_links/proceedings/1999/pdf99/Panel3/3-23.pdf
- PELLEMANS P. (1999), *Recherche qualitative en marketing : perspective psychoscopique*, Paris, De Boeck Université.
- PRINCEN T. (1999), "Consumption and environment: some conceptual issues", *Ecological Economics* 31 (1999), p. 347-363.
- REISCH L.A. (2001), « Time and Wealth The role of time and temporalities for sustainable patterns of consumption », *Time & Society*, vol. 10, 2/3, p. 367-385.
- RØPKE I. (1999), "The dynamics of willingness to consume", *Ecological Economics*, 28, p. 399-420.
- SABOURIN M. & LAMARCHE L. (2005), "Environmental Social Psychology", in Psychology, from *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [<http://www.eolss.net>]
- SHOVE E. (2003), "Changing human behaviour and lifestyle: a challenge for sustainable consumption?" <http://www.psi.org.uk/ehb/docs/shove-changinghumanbehaviourandlifestyle-200308.pdf>
- SIEBENHUNER B. (2000), "Homo sustinens — towards a new conception of humans or the science of sustainability", *Ecological Economics*, 32, p. 15-25.
- Baudrillard J. (1970), *La Société de consommation*, Gallimard, Paris.
- SPAARGAREN G. (1997), *The Ecological modernization of production and consumption*. Essays in environmental sociology, PhD Thesis, Landbouwniversiteit Wageningen.
- STAGL S. & O'HARA S.U. (2001), "Preferences, needs and sustainability", *Int. J. Sustainable Development*, Vol.4:
- STENGERS I. (1993), *L'Invention des sciences modernes*, La Découverte, Paris.
- STERN P.C. (1992), "Psychological dimensions of global environmental change", *Annual Review of Psychology*, 43, S.269-302.
- VEBLEN T. (1899), *The Theory of Class Leisure*, Penguin Classics.
- WILK R. (2001), "Consuming Morality", *Journal of Consumer Culture*, 12, p. 245-260.

[2] Le télégraphe, l'éther et la fée Électricité

in *Ernest Solvay et son temps*, A. Despy-Meyer et D. Devriese (eds), Archives de l'ULB, Bruxelles, 1997, pp.45-69.

Note introductive

Au départ, le sujet du présent article devait être « physique théorique et expérimentale à l'époque d'Ernest Solvay ». Cependant, le point de vue de la physique à cette époque est marqué par l'extension de l'électricité et de ses applications. Je saisi donc cette occasion pour essayer de raconter comment les phénomènes électriques se sont diversifiés dans les laboratoires et dans les industries, comment ils ont pu être unifiés dans des théories, et quel a été le rôle de la vulgarisation dans la diffusion des nouvelles inventions.¹

1. La fée Électricité travaille pour vous

Dans le vaste mouvement de développement des sciences dans la seconde moitié du XIX^e siècle, l'électricité occupe une place privilégiée. De l'extension des réseaux télégraphiques à la TSF, en passant par l'éclairage et les moteurs, la production du savoir scientifique s'associe intimement au bien-être des gens, à l'instauration d'un confort quotidien. Avec les applications de l'électricité, on assiste à la fabrication d'un nouveau monde auquel il s'agit de familiariser le public.

En Angleterre, la marine perdait (on l'a prouvé par une enquête) des centaines de millions en moins de dix ans. Depuis l'installation de paratonnerres à bord des navires, la face des choses a changé, et les seuls dégâts qu'on ait à déplorer sont ceux qui arrivent aux navires non préservés. Voilà à quoi la science a servi. Mais elle a servi à autre chose encore. Il ne suffit pas de maîtriser la foudre, il faut l'asservir, la plier à nos usages, en faire un démon familier. C'est ce que nous avons fait depuis l'origine de ce siècle. L'électricité dore, argente nos métaux. Elle galvanise nos candélabres, nos fontaines, les portes de nos maisons. Elle enflamme les gaz dans le moteur Lenoir. Surtout, oui,

¹Pour préparer le présent travail, j'ai dépouillé les articles de la *Revue Scientifique* consacrés à la physique. Cette revue s'est d'abord intitulée "Revue des cours scientifiques de la France et de l'étranger" (1863-1869). La deuxième série débute le 1.7.1871 (vol. 8), sous le nom "Revue scientifique de la France et de l'étranger" jusqu'en 1884, et est ensuite communément appelée "Revue rose" (par la couleur de ses feuillets publicitaires). La numérotation originelle des volumes n'est pas toujours systématique, mais j'ai néanmoins opté pour une numérotation continue des volumes, précédée de l'abréviation *RS*.

surtout, elle a donné la télégraphie. Jupiter, détrôné, réduit au rôle d'esclave industriel, porte nos messages et fait nos commissions².

L'électricité est d'abord un démon qu'il faut rendre familier, un fait merveilleux qui s'élabore sur le mode de l'exception, une rareté à cultiver, à civiliser. En ce sens, le télégraphe, la lumière électrique, les enregistreurs automatiques sont d'étranges et merveilleuses applications. Par ailleurs, la nouveauté radicale de l'électricité comme source d'énergie, c'est qu'elle n'est pas en elle-même une ressource naturelle (à l'inverse du charbon). Dans une controverse avec Le Bon qui affirme que "la provision de houille du globe s'épuise rapidement et on se demande par quoi on pourra la remplacer"³, d'Arsonval veut voir en l'électricité une fée, sorte de démon domestiqué.

Nous aurons malgré tout à notre disposition, force, chaleur, lumière, et cela sans charbon, sans combustion, sans fumée, et même, chose plus merveilleuse encore, sans matière grossière qui tombe sous les sens. Quel est donc l'agent mystérieux capable de réaliser cet incroyable et surnaturel programme ? Cette bonne et merveilleuse fée, c'est l'électricité⁴.

Cette représentation de l'électricité sous forme de fée culminera à l'exposition universelle de Paris en 1900, où le Palais de l'électricité est formé par une imposante façade toute illuminée électriquement, au sommet de laquelle trône une statue devant une étoile, c'est la "fée Électricité"⁵. Les expositions universelles, dont la série a été inaugurée à Londres en 1851, sont des lieux propices à la mise en scène des effets spectaculaires de l'électricité. Ainsi, grande nouveauté, à l'exposition de Paris de 1878, un café impressionne les gens avec sa lumière électrique. L'éclairage électrique fera bientôt partie du décor des expositions faisant des séances du soir un "immense succès"⁶. Dans les années 1890, les moteurs électriques seront suffisamment costauds pour tracter des tramways et envisager des "métropolitains souterrains"⁷. Par ailleurs, on prévoit que la fée habile et véloce va devenir ménagère accorte du logis moderne.

Le bien-être de la vie moderne dépend en grand partie de la canalisation à domicile de tout ce qui peut être produit au dehors de la maison ou doit y être amené. L'eau, le chauffage et l'éclairage sont déjà canalisés : avec l'électricité, nous allons avoir un éclairage plus parfait et la force motrice à

²J. JAMIN, "La foudre", *RS* 1 (1864), p. 346.

³G. LE BON, "Sur l'utilisation des forces naturelles et leur transport", *RS* 28 (1881), p. 269.

⁴A. D'ARSONVAL, "L'avenir de l'électricité", *RS* 28 (1881), p. 370.

⁵Pour une histoire détaillée de la "fée électricité" et de ses multiples incarnations, voir : A. BELTRAN & P. CARRE, *La fée et la servante*, Paris, 1991 ; A. BELTRAN, *La fée Électricité*, Paris, 1991.

⁶G. PETIT, "Exposition universelle. L'éclairage électrique", *RS* 43 (1876) ; J. TYNDALL, "La lumière électrique", *RS* 23 (1879).

⁷L. MONTILLOT, "Les tramways électriques", *RS* 47 (1891). La première présentation du tramway a lieu à l'exposition de Berlin de 1879. Voir aussi D. BELLET, "la traction électrique souterraine", *RS* 56, (1896).

domicile. Ce système ne peut aller qu'en se généralisant ; peut-être, pour nos arrière-neveux, sera-t-il appliqué à la nourriture elle-même. Vous riez ? mais rappelez-vous que nous possédons déjà le café chaud automatique distribué sur les places publiques, par un mécanisme ingénieux⁸.

La fée a bien mérité qu'on lui rende d'aussi vibrants hommages. Elle s'entremet dans les machines pour améliorer la vie quotidienne. Elle intercède auprès des forces de la nature pour que les hommes accèdent à un nouveau monde organisé par la science. Cependant, alors qu'à partir des années 1860 les institutions scientifiques, les laboratoires et les revues consacrés à l'électricité se développent, les savants rappellent que c'est parce que la science ne vise pas l'utilité immédiate qu'elle est une noble tâche et qu'elle pourra produire de nouvelles merveilles pratiques.

Tout ce qui nous apprend à connaître les forces de la nature ou celles de notre intelligence mérite notre attention, et peut devenir, à un moment donné, utile là où nous nous y attendions le moins. Qui aurait pu s'imaginer, il y a quatre-vingt ans, lorsque Galvani fit danser des cuisses de grenouille en les touchant avec des métaux différents, que l'Europe serait un jour couverte d'un réseau de fils de fer transmettant des dépêches avec la rapidité de l'éclair de Madrid à Pétersbourg⁹.

Les réseaux télégraphiques se sont en effet étendus très rapidement depuis leurs premières installations dans les années 1840, ce qui a nécessité une intense collaboration internationale. Le télégraphe est la première application électrique à grande échelle¹⁰. Dès le début, il noue des relations étroites avec le chemin de fer : les fils de fer s'établissent le long des voies déjà tracées, et en retour ils rendent possible la coordination du trafic. Aussi la révolution industrielle s'accompagne-t-elle du transport et de la sauvegarde de l'information : avant le télégraphe les communications écrites voyagent à la vitesse des voyageurs ; avant le téléphone la portée de la voix est réduite ; avant le phonographe la voix d'une personne disparaît avec elle ; avant les enregistreurs automatiques le travail de collecte des données se fait à la vitesse des gestes de la main.

2. Le télescope, l'étalon et la précision de la mesure

À chaque époque la physique revêt une nouvelle forme, si bien qu'il est difficile de spécifier depuis Galilée jusqu'aux quarks ce qu'est la physique. Cependant, on peut affirmer que la physique est non seulement à la confluence des mondes mathématique et technique mais aussi en amont de

⁸R.-V. PICOU, "La distribution de l'électricité", *RS* 45 (1890), p. 294.

⁹H. von HELMHOLTZ, "Les sciences naturelles et la science en général", *RS* 4 (1867), p. 700. Dans les pays anglophones, la phrase de Benjamin Franklin, "A quoi sert un bébé ?" était largement citée (D. KNIGHT, *The age of science*, Oxford, 1986, p. 165).

¹⁰Je laisse de côté la galvanoplastie, procédé de moulage basé sur l'électrolyse, qui relève plutôt de l'industrie chimique

bien des découvertes mathématiques et des innovations technologiques. La forme de la physique est donc intimement liée aux autres structures que sont la mise au travail des instruments, l'organisation du résultat des mesures, la représentation opérationnelle des phénomènes et leur mise en forme mathématique.

À l'aube du XIX^e siècle, seules la mécanique et l'astronomie se présentent sous des ensembles mathématiquement cohérents. Cependant, très vite, le « siècle de la Science et du Progrès » va voir s'étendre le domaine de la physique : des phénomènes optiques, électriques, thermiques, magnétiques, acoustiques et astrophysiques vont se formuler en théories mathématiques et s'organiser les uns les autres autour de relations quantitatives.

La physique s'étend à de nouveaux territoires en développant systématiquement des *stratégies de précision*. En élaborant des instruments de mesure, en maîtrisant le calcul d'erreur, en développant la sûreté des outils mathématiques, les savants séparent les phénomènes et les détachent des dispositifs en les représentant sous forme de lois. Cette idée de loi et cette pratique de la précision ont d'ailleurs historiquement permis à l'astronomie, à la recherche des observations probables des astres autour de leurs vraies positions, de donner naissance au calcul statistique des erreurs.

Tout au long du XIX^e siècle, l'astronomie est régulièrement donnée en exemple du progrès simultané des instruments et de la théorie. La mécanique céleste est une théorie achevée, et tout écart observé à cette théorie doit pouvoir être expliqué. La méthode des résidus est devenue pour les astronomes un leitmotiv : cette méthode énonce que presque toutes les découvertes ont été le résultat de phénomènes résiduels, c'est-à-dire de phénomènes dont l'état des connaissances (théorie et observations confirmées) ne peut rendre compte. L'observation de Neptune en 1846, suite aux calculs d'Adams et de Le Verrier à partir des perturbations de l'orbite d'Uranus, est l'exemple par excellence des résidus : étant donné une planète dont le mouvement ne semble pas obéir à la loi de la gravitation universelle, il s'agit de trouver les coordonnées d'une autre planète telle que la loi soit observée par les deux corps en question. La méthode a cependant des limites : après que Le Verrier en 1861 annonce le mouvement anormal de Mercure, il prévoit un ensemble de petites planètes entre le Soleil et Mercure. Aussitôt des astronomes disent avoir observé de telles planètes¹¹.

¹¹L. FIGUIER, *L'année scientifique et industrielle* 5 (1861). Le mouvement du périhélie de Mercure, inexplicable dans le cadre de la physique classique, sera réglé par la relativité générale (1915).

La méthode des résidus sert également de justification à l'établissement de cartes du ciel, car ces cartes permettraient de repérer des mouvements anormaux. La mesure précise des coordonnées d'un astre autorise une stratégie de recherche des écarts quantitatifs. Cette stratégie nécessite tout un équipement. A ce titre, dans la première moitié du XIX^e siècle, l'astronomie a tous les aspects de la "big science" : course vers des télescopes toujours plus grands, étude technologique du dispositif lui-même, division et spécialisation du travail dans la manipulation des appareils et du traitement des données, coûts croissants, etc. Mais d'une manière générale, cette stratégie de la précision s'étend à l'ensemble de la physique.

La maîtrise de l'espace physique et pratique est accomplie au travers d'instruments de précision. La métrologie, science des mesures, devient une activité à part entière¹². L'établissement de la métrologie permet d'organiser des bases communes pour les laboratoires, d'étendre ces pratiques aux industries, et d'accélérer les applications de la science, c'est-à-dire la technologie. Les expositions universelles organisent des concours qui attribuent des médailles aux nations qui produisent les meilleurs instruments¹³. De même que les astronomes ne manquent jamais de travail puisque les cartes du ciel sont à compléter avec chaque nouveau télescope plus puissant, l'ensemble des disciplines scientifiques bénéficie du surcroît de précision apportée par la technique.

L'astronomie nécessite des collaborations internationales pour récolter le maximum d'observations. Mais elle n'est pas la seule. Ainsi, pour passer les frontières, le télégraphe oblige les nations à se mettre d'accord sur des normes communes. La standardisation des instruments, des techniques, des langages, des étalons est à l'ordre du jour d'une série de congrès internationaux. Dans le contexte d'un accroissement de la division de la production de connaissances, d'une communauté toujours plus internationale, il est crucial d'établir des normes pour réduire les tâches de traduction d'une connaissance à l'autre, d'un laboratoire à l'autre. Le laboratoire est non seulement le lieu de domestication des phénomènes, mais aussi le centre de fidélisation de l'instrument.

¹²Pour un bon exemple de l'articulation institutionnel des mesures physiques et de la fabrication des instruments, voir D. CAHAN, "The geopolitics and architectural design of a metrological laboratory: the Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Imperial Germany", in *The development of the laboratory: Essays on the place of experiment in industrial civilization*, F. James ed., Macmillan, London, 1989., pp. 137-154.

¹³Voir les catalogues d'instruments présentés à l'exposition de 1900 à Paris. A. CORNU, *L'industrie française des instruments de précision 1901-1902*, Réimpression : Alain Brieux 1980 ; Catalogue de l'exposition collective allemande d'instruments d'optique et de mécanique, Berlin, 1900, imprimé par la Reichsdruckerei . Réimpression : Alain Brieux, 1984.

La standardisation n'a d'autre but que de devenir invisible pour que circulent avec un minimum de résistance des objets ou des informations. La fée, domestiquée grâce au développement d'instruments de précision, circule à toute allure tout en n'arrêtant pas d'être contrôlée par des références fixes, des conventions stables. Les standards constituent les règles de l'économie politique de l'association des nouveaux êtres qui prolifèrent en cette seconde moitié du XIX^e siècle.

Si l'on comprend que le laboratoire est le lieu de fabrication simultané du phénomène et de sa mesure, il devient plus facile d'envisager que les scientifiques travaillent à *préciser* aussi bien leurs pensées que leurs appareils. En ce sens, apprendre aux étudiants à faire des mesures est une manière de les discipliner. Le travail de précision de la science, calqué sur la méthode des résidus, est d'ailleurs un thème qui revient souvent dans la dernière décennie du siècle.

3. Le télégraphe, les machines et la division du travail de la nature

La grande différence de l'électricité avec l'astronomie réside dans la distinction entre production et observation des phénomènes. Alors que les astronomes construisent des instruments pour « recueillir » des données, les électriciens fabriquent des appareils pour produire des charges, les faire circuler et les stocker. La production d'électricité est tout d'abord un travail et une sélection des milieux. Quels sont les milieux conducteurs et isolants ? Quelles sont les réactions chimiques qui produisent un courant ?

Le XVIII^e siècle correspond à la constitution de l'électricité statique. Comment produire de l'électricité et l'isoler simultanément pour l'observer ? Comment la conserver pour la rendre un peu plus autonome ? Les machines électrostatiques, dont on fait tourner manuellement les “frotteurs” (ambre, soufre, verre), permettent de produire, comme une pompe, une substance qui peut être “condensée” (bouteille de Leyde) et communiquée par contact (conducteurs) à certains corps. L'analogie entre les “aigrettes” (étincelles électriques) et la foudre est réalisée dans la confection des paratonnerres qui recueillent l'électricité atmosphérique.

Cette phase de séparation et d'isolation des phénomènes électrostatiques prépare la voie à une électricité des “courants”. Avec l'invention de la pile, par Volta en 1800, l'électricité accède au dynamisme : à l'observation de configurations statiques s'ajoute l'exploration des effets de “l'impulsion du fluide électrique”. Une fois admise la nature unique de l'électricité dans ses différentes manifestations, se pose les questions des moyens de production, de transport, de

stockage, questions d'abord de laboratoire, mais qui intéresseront bien vite l'industrie. En retour, les applications électriques pourront susciter des dispositifs qui à leur tour envahiront les laboratoires.

La découverte de phénomènes pour devenir scientifiques nécessite l'invention d'instruments de mesure, qui à leur tour pourront contrôler des machines et produire de nouveaux effets. Prenons l'effet thermoélectrique comme exemple. Un courant électrique circulant à travers une résistance dégage de la chaleur. L'effet thermoélectrique est une inversion de ce phénomène : du courant est produit dans un circuit comprenant deux conducteurs portés à des températures différentes. Cet effet permet d'améliorer la précision des thermomètres.

L'entrelacs des instruments et des machines, neuf au XIX^e siècle, est crucial pour le développement de l'électromagnétisme. Les machines, depuis qu'elles existent, ont la particularité de produire des phénomènes qui n'existent pas dans la nature. La mise au point de machines correspond à l'isolation d'un phénomène dans des matériaux dont on connaît alors les propriétés. L'électricité est produite en combinant des intensités et des tensions calibrées avec des matériaux purifiés. Ainsi la division du travail n'apparaît plus uniquement comme celle des gestes des savants, mais aussi comme une *division du travail de la nature*. Tandis que la loi de gravitation est présente partout, qu'elle soit observée parmi les astres ou mesurée sur terre, les phénomènes électriques doivent d'abord être produits avant d'obéir à une loi.

Le dispositif télégraphique est simple dans son idée : un milieu homogène (fils métalliques), une perturbation de l'état de ce milieu et la détection de cette perturbation. Cependant, les problèmes pratiques ne sont pas faciles à résoudre : comment "noter" un courant électrique ? quelle est l'information que véhicule un signal ? chaque lettre de l'alphabet doit-elle correspondre à un type de signal ou à un fil différent ? comment allonger le fil sans perdre le signal ? Au départ, on tente de détecter le courant électrique à l'aide de réactions chimiques créées en bout de course par l'électricité. La grande innovation consiste à utiliser les effets électromagnétiques du courant.

Le couple électricité-magnétisme offre un superbe exemple de convertibilité de formes d'énergie différentes, c'est-à-dire de division du travail des phénomènes. Mais il oblige également les physiciens à mettre au travail leurs théories. Quelles sont les relations entre vertus électriques et magnétiques ? En 1819, Ørsted découvre qu'un courant électrique influence l'orientation d'un aimant placé dans son voisinage. Un courant rectiligne peut provoquer un mouvement de rotation

de l'aimant ! Inversement, Ampère observe l'action de courants circulaires sur les aimants et invente le "solénoïde". Pour comprendre la relation entre électricité et magnétisme, Ampère réduit le magnétisme à de minuscules et innombrables courants électriques orientés, faisant du magnétisme un effet électrique. En 1831, Faraday découvre les "courants d'induction", c'est-à-dire le rôle des aimants dans la création de courant. Dès lors, l'électricité et le magnétisme sont en relation lorsque soit le courant varie, soit l'aimant bouge. L'électricité n'est plus seulement la cause du magnétisme, mais peut aussi en être un effet : les deux phénomènes doivent être pensés sur le même pied.

Comment mettre en évidence cette fée qui échappe à notre vue mais se manifeste par une série d'effets ? Le galvanomètre met en scène les relations causales de l'électricité et du magnétisme : le déplacement de l'aimant est proportionnel à l'intensité du courant. L'idée générale est de ramener les phénomènes électriques à des mouvements mécaniques observables afin d'inventer des moyens de les mesurer. Le télégraphe est alors une sophistication du couplage d'une batterie (production du courant) avec un galvanomètre (détection de la variation de l'intensité du courant).

Le XIX^e siècle est "le siècle des machines"¹⁴. Les stratégies de précision et de division du travail de la nature se traduisent par des "machines magnéto-électriques" qui fournissent du courant électrique au moyen du magnétisme existant, et des "machines électro-magnétiques" qui développent une force motrice, un travail à l'aide d'un courant existant¹⁵. Le magnétisme sert donc de médiateur entre deux types d'énergie, le mouvement mécanique et l'électricité. Ces machines reposent sur des configurations géométriques des éléments suivants : champs magnétiques (éventuellement canalisés par un aimant permanent), bobines de fils dont l'épaisseur, la longueur et l'orientation sont déterminantes dans l'équilibre des flux, et mouvements de rotation ou de va-et-vient qui autorisent la machine à accomplir des cycles. La dynamo de Zénobe Gramme (1870) en est un exemple typique. Sa grande caractéristique est d'être réversible : soit fournir du courant à partir du mouvement, soit du mouvement à partir du courant. Cela fait immédiatement entrevoir de grandes possibilités pour l'électricité comme véhicule d'énergie.

Le développement des dynamos va progressivement permettre de produire des courants intenses, et alternatifs, impossibles avec les piles voltaïques ou les batteries. L'électricité se divise alors en deux modes : les courants faibles pour le transport d'information et les courants à grande

¹⁴Le Général SEBERT, "Les progrès des industries mécaniques et les moyens de les développer", *RS* 66 (1901), p. 133.

¹⁵W. SIEMENS, "Les services de l'électricité", *RS* 25 (1880), p. 752

tension pour les machines énergétiques. Les courants alternatifs sont cruciaux pour le développement des moteurs : ils ne sont pas seulement plus stables, mais ils permettent également de simplifier les moteurs en diminuant le nombre de parties mobiles¹⁶.

Le siècle des machines est aussi celui des instruments, dont les créateurs sont alors célèbres. Ainsi la fameuse “bobine de Ruhmkorff”, dont s'équipe tout laboratoire de physique après 1850, permet à partir du courant continu d'une pile de produire un courant alternatif à tension très élevée, et par exemple des étincelles à rythme soutenu. En connectant cette bobine à deux électrodes d'un tube dans lequel on a fait un vide relativement poussé, on obtient le “tube de Geissler”, qui est à l'origine de l'expérimentation de différents rayonnements.

Certes l'acquisition d'instruments de précision coûte, mais leurs résultats sont sans prix. Par leur taille croissante et leur équipement (électricité, tubes à vide, appareils de précision pour la physique), les laboratoires sont de plus en plus chers. Ainsi Pasteur appelle à multiplier “les temples de l'avenir, de la richesse et du bien-être”, “ces demeures sacrées que l'on désigne du nom expressif de *laboratoires*.”¹⁷ Il est généralement admis que la valeur de la science repose, entre autre, sur sa capacité à produire de nouvelles techniques qui améliorent le bien-être. Mais la physique possède une valeur supplémentaire : l'exigence et la possibilité de représenter de manière simple l'ensemble des propriétés de la matière.

4. L'éther, la loi astronomique et la mécanique

Tandis que la physique fait progressivement tomber des phénomènes dans son escarcelle, elle se présente de plus en plus comme une description totale et ultime de l'univers. Cela est suscité, entre autre, par le rôle que peuvent jouer les mathématiques. En effet, dès que des lois physico-mathématiques sont établies, se pose le problème de leurs rapports au sein d'une éventuelle théorie qui les engloberait, les unifierait — ce problème est en fait celui de l'invention mathématique, de l'élaboration de nouveaux instruments de représentation.

Au XIX^e siècle, les savants considèrent généralement que de telles correspondances mathématiques n'ont de sens physique qu'en référence soit à un substrat « réel » (l'énergie ou

¹⁶R. KLINE, “Science and Engineering Theory in the Invention and Development of the Induction Motor”, 1880-1900, *Technology and culture* 28 (1987), pp. 283-313.

¹⁷L. PASTEUR, “Le budget de la science”, *RS* 5 (1868), p.139.

l'éther), soit à des relations de cause à effet créées et observées grâce au développement prodigieux des « machines ». Du point de vue de l'unification des phénomènes physiques, deux événements sont marquants : la conservation de l'énergie et la théorie électromagnétique de la lumière. La conservation de l'énergie est énoncée comme un principe, ce qui oblige toute théorie et tout dispositif expérimental à la respecter¹⁸. L'unification de l'électricité, du magnétisme et de l'optique est une avancée théorique considérable, approfondissant pour certains l'idée d'éther.

L'éther a été à nouveau pris en considération par les physiciens, suite à la théorie ondulatoire de la lumière formalisée par Fresnel : comment concevoir la déformation locale d'un milieu et sa propagation (une onde) sans milieu ? Certains physiciens développeront des théories très précises de l'éther. Mais vues aujourd'hui, les différentes théories de l'éther sont plutôt obscures ou bien tout simplement absurdes. Il y a en effet contradiction entre la densité (l'éther est présent en chaque point de l'espace), la parfaite élasticité (il ne subit pas de déformation) et son extrême ténuité (il n'entrave pas le mouvement des astres). L'éther cependant a été une hypothèse nécessaire, qui a rempli une série de fonctions pour expliquer des causes. Ainsi, l'éther sert soit à soutenir des phénomènes qui se comportent comme des fluides (chaleur, électricité, magnétisme), soit à remplacer une action à distance par une propagation continue (lumière)¹⁹.

En 1912, l'historien Merz caractérise la physique du XIX^e siècle selon quatre types de « représentations » (*views*). La « représentation astronomique » affirme l'existence d'une loi mathématique et unique, dont le modèle est donné par la gravitation. La « représentation mécanique » analyse le rapport entre éther et matière, entre continu et discontinu, et s'appuie sur des équations différentielles. La « représentation atomique » repose sur des principes de divisions et sur des règles combinatoires pour envisager les transformations de la matière. Enfin, la « représentation physique » envisage les trois autres représentations comme complémentaires afin d'interpréter ce qu'est l'énergie (qui a porté divers noms : vis viva, force, puissance, effet, action)²⁰.

En prolongeant cette classification, on peut dire que chaque représentation pose un problème : quelle est la loi (astronomique) ? quelles sont les équations (mécaniques) ? quels sont les

¹⁸ L'épisode de l'association du principe de conservation de l'énergie avec l'idée générale de progrès, liant ainsi destin de l'humanité et respect du principe, est raconté ailleurs dans cet ouvrage : I. STENGERS, *La pensée d'Ernest Solvay et la science de son temps*.

¹⁹ Pour une histoire générale des théories utilisant l'éther, voir G.N. CANTOR & M.J.S. HODGE (eds), *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories 1740-1900*, Cambridge, 1981.

²⁰ J.T. MERZ, *A history of european thought in the 19th c.*, Edinburgh and London, 1912.

changements (atomiques) ? quel est le principe (physique) ? Évidemment les problèmes renvoient les uns aux autres, mais ils sont hiérarchisés selon l'époque et le lieu. Ou plutôt, les relations qu'entretiennent les représentations sont réinventées par chaque théorie, par chaque savant.

La représentation astronomique, basée sur l'analogie entre l'infiniment grand (le ciel) et l'infiniment petit (les éléments ultimes indécomposables), est une puissante source d'inspiration pour les savants du début du XIX^e siècle, surtout en France. Cette représentation, qui remonte au moins à Laplace et à ses disciples, et qui figure tout système sous forme de forces ponctuelles, a l'avantage de pouvoir être facilement mathématisée.

Plus nous nous éloignons de notre être, dont les dimensions sont notre type naturel de comparaison, plus nous trouvons que les deux infinis, celui du haut et celui du bas, tendent à se rapprocher, à se confondre devant une commune harmonie. Dans les groupements stellaires, on saisit comme un reflet de la loi qui préside aux mouvements des atomes²¹.

Cette représentation astronomique de la nature est comprise comme le prolongement naturel des recherches de Newton, et doit être pertinente puisqu'elle a permis à Coulomb, par exemple, de formuler la loi de l'attraction et de la répulsion électrique, modelée sur celle de la gravitation. La volonté de réduire l'ensemble des phénomènes physiques (mécanique, chaleur, lumière, électricité, magnétisme) à un nombre restreint de lois simples est omniprésent au XIX^e siècle. Cet appel est clairement énoncé par Laplace dans *l'Exposition du système du monde* (1796). Se revendiquant de l'autorité de Newton, la mécanique de Laplace se veut limpide : les points matériels dotés de vitesses sont également les centres de forces agissant à distance, érigeant un système dans lesquels les mouvements des masses se déterminent les uns les autres. Par ailleurs, il reste encore à élaborer une théorie qui inclurait les "molécules de lumière", les deux "fluides de molécules" qui composent l'électricité, ou les attractions moléculaires étudiées dans les phénomènes capillaires.

Les affinités dépendraient alors de la forme des molécules et de leurs positions respectives ; et l'on pourrait, par la variété de ces formes, expliquer toutes les variétés des forces attractives et ramener ainsi à une seule loi générale, tous les phénomènes de la Physique et de l'Astronomie. Mais l'impossibilité de connaître les figures moléculaires et leurs distances mutuelles, rend ces explications, vagues et inutiles à l'avancement des sciences²².

Avec la loi de l'attraction universelle de Newton comme loi directrice, la représentation astronomique crée une distinction entre corps pondérables et impondérables. En effet, un corps

²¹W. de FONVIELLE, "Le scorpion", *RS* 5 (1868), p. 485.

²²LAPLACE, *Exposition du système du monde* [1796], Fayard, Paris, 1984, IV, 18, p. 449.

pondérable se définit par le fait qu'il est pesant et donc soumis à la gravitation. Les impondérables (lumière, chaleur, électricité,...) sont d'une extrême ténuité puisqu'ils échappent à la balance. La loi de la gravitation opère donc comme principe de tri entre les phénomènes qui tombent sous sa coupe et ceux qui y échappent mais ne l'altèrent pas. Mais comment pondérables et impondérables interagissent-ils ensemble s'ils sont de natures différentes ?²³ Les impondérables sont-ils des espèces de fluide ou des mouvements d'un milieu particulièrement ténu, appelé "éther" ? Y a-t-il un seul éther ou chaque classe de phénomènes a-t-il besoin d'un milieu propre ?

La question de l'unification des phénomènes relève d'un programme astronomique : quelle est la loi universelle à laquelle obéissent tous les phénomènes matériels ? C'est le succès de la mathématisation des phénomènes qui autorise la recherche de telles représentations générales, car au XVIII^e siècle les discours sont nombreux qui mettent en garde contre la "manie de la physique à vouloir tout expliquer"²⁴. Cependant les mathématiques ne cessent d'apporter de nouveaux objets à la physique. L'intérêt des mathématiques pour la notion de nombre se déplace vers celle de fonction. L'exploration des propriétés des fonctions est alors au centre des préoccupations des mathématiciens : quelles sont les fonctions dérivables, quelles sont leurs autres représentations (séries, limites, intégrales). La fonction, par rapport au nombre, joue le rôle de densification des relations possibles en un point. La force des fonctions à plusieurs variables est de pouvoir déterminer une grandeur physique quand la valeur de chaque variable est donnée. De plus, cette détermination est locale : en chaque point de l'espace qui correspond à l'ensemble des variables, la fonction reçoit une et une seule valeur²⁵. La physique va abondamment utiliser des fonctions : il est facile de généraliser les fonctions dans des espaces à autant de dimensions qu'il y a de variables. Les espaces mathématiques ne correspondent plus nécessairement avec l'espace réel.

Les problèmes de mécanique ont été très stimulants dans l'invention de ces nouvelles mathématiques. Les bases du calcul différentiel et intégral, inventées par Leibniz et Newton, ont été éclaircies et le calcul devient plus rigoureux : en se débarrassant des "hypothèses métaphysiques",

²³ Pour une affirmation sans ambages d'une réduction générale des phénomènes à des "monades pondérables", voir F. MOIGNO, "Physique moléculaire", *Cosmos*, vol. 2 (1852-53), pp. 371-383.

²⁴ Les travaux d'Euler et de Lagrange (*Mécanique analytique*, 1787) s'étaient attaqués au problème de la définition de la dérivée en voulant éviter toute hypothèse métaphysique sur les infiniment petits. Au début du XIX^e siècle, la mathématisation est avant tout une œuvre française : Laplace, Fourier et Carnot pour la chaleur ; Poisson et Ampère pour l'électricité ; Fresnel pour l'optique.

²⁵ Il s'agit du cas général, car certains phénomènes particuliers nécessitent des fonctions particulières (cycle d'hystérèse par exemple).

les mathématiques se focalisent sur leurs propres êtres pour les constituer. Cependant, issues de problèmes de cinématique et de gravitation, elles restent du point de vue de la physique confinées à des combinaisons des représentations astronomique, mécanique et atomique. Quant à la représentation physique, elle pose problème. Quel est le principe ? Quelles sont les propriétés fondamentales de la matière ? énergie ? atomes ? éther ? Cette question a-t-elle un sens ? Les équations ne sont-elles pas simplement d'utiles instruments de recherche ?

En fait, différents types de mécaniques coexistent, selon que l'on y ajoute des hypothèses astronomique ou atomiques, qui sont des conceptions très différentes de ce que peut et doit faire une théorie physique. Au milieu du siècle, le principe de conservation de l'énergie s'impose par les travaux de Britanniques et d'Allemands. La représentation atomique, soustraite à la chimie pour devenir *mouvements* d'atomes, reste subordonnée soit à l'astronomie (action instantanée à distance), soit à la mécanique (actions contiguës d'un champ).

L'association des représentations mécanique et atomique ramène les changements observés à des mouvements, c'est-à-dire à l'évolution de points (ou de quantités infinitésimales) dans le temps et l'espace. La physique intègre alors pleinement les outils de l'analyse des fonctions. Toute transformation étant réduite à des mouvements atomiques, la chimie est formellement réduite à une branche de la physique. Cette alliance de l'atomique et du mécanique, dominante dans la seconde moitié du XIX^e siècle, trouve en Helmholtz un grand interprète :

Tout, dans la nature extérieure, se réduit à un changement de forme dans l'agrégat des éléments chimiques éternellement invariables ... Il n'y a de changement possible dans la nature, que l'arrangement divers des éléments dans l'espace, ce qui revient à un *mouvement*. Et il s'ensuit que, si tous les changements sont des mouvements, les forces, qui produisent ces changements, ne peuvent être que des *forces mécaniques*²⁶.

Autrement dit, il n'y a jamais que des déplacements, des agrégations et des dissociations pilotées par des forces. En disant que les forces sont mécaniques, Helmholtz dit simplement qu'elles sont simples et mathématisables. Mais plus loin, il affirme également "la loi de conservation de la force"²⁷, ce qui pour nous est une confusion puisque l'on dit aujourd'hui que c'est l'énergie qui

²⁶H. von HELMHOLTZ, "Le développement des sciences dans les temps modernes", *RS* 7 (1870), p. 93.

²⁷*Ibid.* La représentation mécanique, atomique et astronomique de Helmholtz est selon Du Bois-Reymond la plus achevée, et mène pourtant à son retentissant *Ignorabimus* : la "connaissance astronomique d'un système matériel est la connaissance la plus parfaite à laquelle nous puissions aspirer", mais elle laisse dans l'ombre ce que c'est matière et

se conserve. Cependant, cela indique que les unifications physico-mathématiques ont toujours besoin d'être interprétées, que ce soit sous des formes énergétiques ou des modes de forces. Les physiciens ne se satisfont pas d'une représentation purement mécanique des phénomènes : pour donner sens aux équations, il faut leur adjoindre des hypothèses.

5. Le champ fait des vagues

Les fils du télégraphe permettent de concevoir un nouveau type de propagation de l'action : ils sont la mise en scène directe d'un courant électrique. Le travail des milieux conducteurs et isolants, de leurs connexions, s'accompagne d'élaborations théoriques de représentation de ce que peuvent ces milieux. Les théories, en ce sens, racontent ce qui arrive dans ces machines. Tant que les théories s'occupent d'électrostatique, la représentation de la loi sous forme d'une action à distance ne pose pas de problème. Mais dès que l'électricité est en mouvement des effets électromagnétiques apparaissent et d'autres formulations théoriques semblent nécessaires. A la place d'une force s'exerçant instantanément à distance, ne peut-on pas représenter des propagations de proche en proche ? L'opposition entre action à distance et propagation contiguë traverse la seconde moitié du XIX^e siècle. Elle est progressivement résolue grâce à l'inspiration que suscite les effets observés dans différents types de télégraphes.

Tant que les câbles télégraphiques sont aériens, la détection du signal ne pose pas de graves problèmes, et peut reposer sur des connaissances empiriques. Mais dès que le câble est immergé ou enterré, un phénomène curieux se produit : une impulsion envoyée à un bout du câble est reçue brouillée, atténuée et dispersée. Pour expliquer ce phénomène, particulièrement observé dans le câble posé en 1851 sous la Manche, qui menace le développement des télégraphes à longue distance, W. Thomson reprend des idées de Faraday tombées dans l'oubli depuis quinze ans. Pour immerger un câble conducteur d'électricité, il s'agit de l'entourer d'un bon isolant. Or, pour Faraday, non seulement le conducteur mais également l'isolant sont soumis à la tension électrique : le conducteur est le lieu de propagation des actions électriques mais l'isolant résiste à la propagation en se polarisant ; ce qui se passe à la surface des deux milieux est crucial car l'isolant en subissant la tension électrique, stocke une partie de l'énergie électrique et "induit" une tension qui s'oppose à la propagation initiale.

force, et nous abandonne à l'énigme du libre arbitre (DU BOIS-REYMOND : "Les bornes de la philosophie naturelle", RS 1874, citation p. 342)

Inspiré par une conception unifiée des forces de la nature, Faraday conçoit les phénomènes sous formes de “ligne de champ”. Imaginant que toute force se propage le long de lignes dont les traits sont déterminés par les formes de la matière présente, il est capable de penser l’interaction mutuelle de toutes les forces dont les centres sont des atomes à considérer comme des “monades dynamiques”.

Dans les combinaisons chimiques, si l’on admet l’hypothèse des atomes solides inaltérables et impénétrables, les deux atomes composants ne peuvent être que juxtaposés. Mais dans l’hypothèse des monades dynamiques, les atomes composants peuvent se pénétrer mutuellement jusqu’à leur centre, formant ainsi une molécule avec les pouvoirs des deux atomes constituants... La manière dont deux ou plusieurs centres de force peuvent de cette façon se combiner, puis se séparer sous l’influence de forces plus énergiques, peut être représentée en quelque sorte par l’exemple frappant de la réunion dans une seule de deux vagues de la mer, animées de vitesses différentes, qui marchent d’accord pendant un moment, et qui se séparent finalement de façon à reformer les deux vagues constituantes... Les centres de forces pourront ne pas coïncider toujours ; leur position relative dépendra du mode de distribution des forces émanées de chaque atome...²⁸

Résumée à une propagation comme les “vagues de la mer”, toute action s’additionne ou se soustrait localement aux autres. Si l’électricité possède un effet magnétique, l’inverse est vrai également. De plus, les forces s’étendent dans tout l’espace, qu’il soit éther ou matière, et l’électricité “influence” tout atome de matière : le phénomène d’induction se manifeste comme conduction des lignes de forces dans les corps électriques ou magnétiques et comme polarisation, ou tension, dans les corps diélectriques (isolants). La production de différents phénomènes corrélés (électricité, magnétisme, chaleur, etc.) dans une même enceinte et leur séparation par des stratégies de précision rend possible — et plus probable — une représentation de cet espace en termes d’activité du milieu élaboré ; représentation qui, étendue à tout l’espace, procure l’idée de *champ*.

Pour déterminer les différentes caractéristiques d’un câble électrique, Thomson fait alors l’analogie entre la diffusion de la chaleur et la propagation électrique (les équations des lignes isothermes et celles des équipotentiels ont la même forme). Grâce à son travail, il détermine la vitesse de propagation selon les différents milieux, et pense pouvoir expliquer le phénomène de dispersion du signal. Mais c’est seulement après l’échec du câble atlantique en 1858, que Thomson pourra faire complètement valoir sa théorie. L’énergie qu’il met alors à développer les systèmes de mesures électriques et à les faire accepter par les “électriciens” lui vaudra un succès retentissant en

²⁸ Cité dans Abbé MOIGNO, “Physique moléculaire”, *Cosmos* 2 (1853), p. 377.

1866 : pour avoir télégraphiquement uni l'Angleterre et l'Amérique, la reine Victoria l'anoblira en Lord Kelvin²⁹.

Les problèmes techniques différents auxquels ont été confrontés les savants anglais et allemands ont conduit à des théories différentes. L'empire britannique s'est imposé comme expert en pose de câbles sous-marins. Les théories britanniques basées sur la représentation d'actions contiguës ouvrent la voie à la théorie de Maxwell, que nous aborderons plus loin³⁰. En revanche, les Allemands ont principalement développé les voies télégraphiques dans les airs qui ne manifestent pas le problème de dispersion de l'impulsion ; et leurs théories, tout aussi cohérentes, sont basées sur des actions à distance.

La théorie de Weber (1846) rend compte des attractions électrodynamiques en supposant que l'interaction entre deux points chargés (positivement ou négativement) dépend non seulement de la distance (afin de retrouver la loi de Coulomb), mais également des vitesses et des accélérations des particules. Cette théorie fut reprise et transformée par d'autres Allemands, dont Kirchhoff et Neumann, afin de tenir compte du retard de l'interaction, du fait que la transmission à distance de la force n'est pas instantanée. Cette approche a même conduit à reconnaître la vitesse de propagation des phénomènes électriques comme étant approximativement égale à celle de la lumière, ce qui est usuellement présenté comme le résultat fondamental de Maxwell. De plus, Helmholtz a développé en 1870 une théorie générale qui inclut les théories précédentes, y compris celle de Maxwell, comme des cas particuliers³¹.

Comment la théorie de Maxwell a-t-elle pu finalement être déclarée vainqueur, pourquoi cette théorie est-elle aujourd'hui encore apprise aux étudiants en physique ? D'une part, elle prend en compte les effets produits dans une série de dispositifs. En plus des solutions apportées aux problèmes rencontrés par les télégraphes sous-marins, elle décrit de manière utile les courants alternatifs. La multiplication des lignes électriques à courant alternatif (téléphone et moteur dans les années 1880) provoque des effets que les physiciens attribuent à la self-induction, tandis que les

²⁹En plus de cette célébrité, les nombreux brevets que Kelvin a déposés lors de ses recherches pratiques lui apportèrent la fortune. Pour une brillante histoire de toutes les activités de Kelvin, voir C. SMITH & N. WISE, *Energy and Empire: a biographical study of Lord Kelvin*, Cambridge, 1989.

³⁰Pour un exposé détaillé du développement parallèle des télégraphes et des théories d'électromagnétisme, voir B. HUNT, "Michael Faraday, Cable telegraphy and the rise of Field Theory", *History of Technology* 13 (1991), pp. 1-19.

³¹Pour une description des différentes théories, voir H. POINCARÉ, *Electricité et optique*, Gauthier-Villars, Paris, 1901, réédition 1954 ; P. DUHEM, *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell*, A. Hermann, Paris, 1902 ; M.N. WISE, "German concepts of force, energy, and the electromagnetic ether: 1845-1880", in *Conceptions of ether. Studies in the history of ether theories 1740-1900*, G.N. Cantor & M.J.S. Hodge (eds), Cambridge, 1981, pp. 269-307.

ingénieurs tiennent à garder leurs règles empiriques. Ce n'est qu'après d'âpres débats que les ingénieurs vont adopter la théorie de Maxwell qui permet une représentation des effets de champs tournants³². Mais, d'autre part, le travail des milieux conducteurs et isolants ne suffit pas à élaborer une théorie : la théorie de Maxwell, qui introduit une série de nouveautés, stimulera un intense travail de redéfinition des concepts de la physique. La théorie de Maxwell devient vraie dans les mains des physiciens, puis des ingénieurs.

L'idée physique principale, empruntée à Faraday, est celle d'un champ dont les déformations se propagent de proche en proche. Maxwell rend hommage aux idées de Faraday. Il souligne cependant que l'illustre expérimentateur n'avait pas le bagage mathématique suffisant pour pouvoir formuler les équations.

[A l'époque de Faraday], la méthode scientifique consistait dans l'application des idées mathématiques et astronomiques, tour à tour à chaque investigation nouvelle... En outre les traités de Poisson et d'Ampère sont d'une forme si technique, que pour y trouver de l'aide le lecteur doit avoir fait des études mathématiques complètes³³.

Maxwell débute son *Traité d'électricité et de magnétisme* (1873) par l'introduction d'un nouvel être physico-mathématique, le potentiel vecteur, et de nouvelles notations des opérateurs. Maxwell bénéficie ainsi des recherches en mathématique sur les vecteurs et les équations de Hamilton. Après les fonctions, les vecteurs, inventés pour représenter les nombres complexes, se sont étendus à l'ensemble de la mécanique, suscitant le développement de l'analyse vectorielle. Les objets physiques à manipuler sont désormais des vecteurs, des "quantités dirigées" (intensité et direction des forces). Les opérateurs de gradient, de divergence et de rotationnel permettent la transformations des vecteurs (dérivations comme variation d'un vecteur, en direction ou en intensité ou orthogonale). De même que la fonction est l'être mathématique qui compose et fait correspondre des nombres, l'opérateur fait correspondre des fonctions. Les physiciens sont alors à même d'introduire de nouvelles représentations locales des flux, des circulations et des sources.

Au niveau des équations, l'innovation de Maxwell consiste essentiellement en l'introduction d'un terme qui représente la variation de la polarisation du diélectrique en présence d'un champ électrique variable, appelé "courant de déplacement". Ce terme a laissé perplexe bien des physiciens

³²B. HUNT, "Practice versus theory : the British electrical debate 1888-1901", *Isis* 74 (1983), pp. 341-355. Pour la nouveauté des problèmes de résonance, suscité par les courants alternatifs, et la construction de modèles d'ingénieurs à partir de la théorie de Maxwell, voir S. HONG, "Forging scientific electrical engineering. John Ambrose Fleming and the Ferranti effect", *Isis* 86 (1995), pp. 30-51.

³³J.C. MAXWELL, "L'action à distance" *RS* 12 (1874), p. 12.

car il ne représente pas un déplacement réel des charges électriques mais seulement la variation et la propagation du champ dans des milieux non conducteurs.

Cependant, cet ajout est crucial pour que Maxwell puisse “boucler la boucle”. Ainsi, même si un courant électrique n’a pas réellement lieu dans l’ensemble d’un circuit, le courant de déplacement permet de dire que le champ électrique, lui, circule selon une boucle virtuelle. Or, un champ électrique variable et en boucle induit un champ magnétique également variable et en boucle mais dont le plan est perpendiculaire à la boucle électrique et passe par le centre de cette boucle. Le champ magnétique variable induit à son tour un champ électrique, etc. Cet entrelacs de boucles forme ainsi des chaînes dont les anneaux sont perpendiculaires à leurs voisins et qui s’étendent dans les trois dimensions de l’espace.

Cette représentation de boucles articulées les unes aux autres est une traduction physique des opérateurs mathématiques (“rotationnel” et “divergence”) dont on doit la notation à Maxwell. Ici, comme souvent d’ailleurs, l’invention d’une notation mathématique est décisive pour pouvoir associer des processus élémentaires à des équations simples. Tandis que la dynamique astronomique repose sur des translations, les inventions électromagnétiques introduisent les rotations élémentaires en physique. Ainsi le solénoïde d’Ampère est une composition d’une direction et d’une rotation, hélice dans laquelle circule un courant électrique et qui induit un champ magnétique. La représentation de l’espace physique sous la forme d’un champ autorise à penser qu’il se passe quelque chose dans cet espace. Les outils mathématiques rendent compte de la perception d’un milieu conducteur ou diélectrique comme le siège d’une activité. D’un point de vue local, un fil électrique se différencie selon diverses composantes irréductibles et liées entre elles.

On a vu que Faraday a placé l’électricité et le magnétisme sur le même pied et que, d’autre part, il admettait la possibilité de l’interaction mutuelle de tous les types de “forces”. Que ce soit par induction ou par polarisation, les différentes forces s’influencent mutuellement. Après de longues tentatives, Faraday observe en 1845 l’influence des forces magnétiques sur la lumière (rotation du plan de polarisation de la lumière lorsqu’elle est plongée dans un champ magnétique). Reléguant l’action à distance aux oubliettes de la physique, Maxwell s’arrange bien de ce fait : depuis Young et Fresnel, la lumière est considérée comme propagation d’une perturbation d’un milieu appelé éther, et il est alors clair pour Maxwell qu’avec sa théorie électromagnétique de la lumière il a mis à jour la structure de ce milieu.

Nous le savons, la lumière peut aussi résulter d'un trouble électro-magnétique dans un milieu non conducteur. Si nous l'admettons, la théorie électromagnétique de la lumière s'accordera en tous points avec celle des ondulations, et l'œuvre de Thomas Young et de Fresnel s'établira sur une base plus ferme que jamais, en se joignant à celle de Cavendish ou de Coulomb, par la clef de voûte des sciences combinées de la lumière et de l'électricité, la grande découverte de Faraday, de la rotation électro-magnétique de la lumière. ...

Le milieu en vertu de la même élasticité par laquelle il peut transmettre les ondulations de la lumière, peut aussi agir comme un ressort. Quand il est convenablement tordu, il exerce une tension différente de la tension magnétique, par laquelle il réunit les corps électrisés différemment, produit ses effets le long des fils télégraphiques, et quand il a une intensité suffisante, conduit à la rupture et à l'explosion appelée éclair³⁴.

Pour Maxwell il n'y a que des courants fermés dont les effets peuvent être soit calorifiques, soit des actions sur les courants et les aimants, soit une induction de courants. Même les courants de déplacement doivent produire des effets électromagnétiques, électrodynamiques et inductifs. Mais ces effets pour être perçus doivent faire appel à des courants qui varient très rapidement. Du point de vue de Maxwell, une onde lumineuse est une suite d'actions des boucles électriques et magnétiques qui se produisent dans les diélectriques (y compris l'air et le vide interstellaire) selon des mouvements alternatifs très rapides et qui se propagent de proche en proche. D'autre part, le calcul montre que la vitesse de propagation est égale au rapport de deux constantes, qui dépendent du milieu diélectrique, et qui possède la valeur expérimentale de la vitesse de la lumière³⁵. Hertz a établi la preuve directe de la théorie, en produisant des oscillations électriques très rapides a observé des ondes dont la seule propriété distincte de la lumière est une bien plus grande longueur d'onde.

L'espace électromagnétique est radicalement neuf. Alors que l'espace astronomique, celui de la loi de l'action gravitationnelle à distance, est comme vide, inerte puisqu'il ne s'y passe rien, l'espace électromagnétique se compose de l'entrelacs ordonné de boucles en rotation ; les phénomènes astronomiques sont observés à distance, mais les actions électromagnétiques sont élaborées dans des machines et pensées du dedans des circuits locaux ; du point de vue mécanique, l'équilibre des points matériels est remplacé par des équilibres de flux et de boucles, et les trajectoires par la propagation de relations spatiales ; l'espace idéal de l'astronomie est un milieu sans frottement, tandis que le milieu électromagnétique idéal est complètement élastique, car chaque tension n'y est qu'un état instantanément passager.

³⁴Id., p. 13-14.

³⁵Pour un beau récit, fait à l'époque, voir H. POINCARÉ, "La lumière et l'électricité", RS 53 (1894).

6. Un nouveau travail de la théorie

La théorie électromagnétique de Maxwell est un moment-clef pour comprendre de nouvelles articulations dans la physique. D'une part, à la notion de loi qui a une action sur la matière se substitue celle de principe qui est une activité qui ne dépend pas de nos gestes pratiques. Bien entendu, cela ne veut pas dire que le principe n'a pas aussi une action sur la matière. Mais cette action est soit directe soit indirecte. Elle est directe lorsqu'elle est conçue de manière inhérente à l'espace : la force est une tension dans un champ. Elle est indirecte quand elle est perçue comme une façon simple de représenter les mesures des phénomènes produits par les machines.

L'introduction par Maxwell des opérateurs et des relations symétriques des forces électriques et magnétiques³⁶ (boucles entremêlées) modifie les représentations physiques des principes qui structurent directement les équations et indirectement la matière. D'autre part, la théorie de Maxwell suscite un vif intérêt mais, formulée de manières contradictoires, elle met au travail une génération de physiciens avant de devenir les "quatre équations". Ainsi de nouvelles pratiques mathématiques et de nouvelles relations entre théorie et modèles se développent. Le champ comme principe explicatif a mis longtemps à être accepté. L'accès à la théorie de Maxwell a tout d'abord été réservé à un nombre restreint de physiciens britanniques. Les "équations de Maxwell" et l'ensemble de la théorie n'ont pris leur forme actuelle que sous la plume des différents partisans de Maxwell³⁷. L'idée d'une "théorie de Maxwell" est donc plutôt paradoxale. Dans les années 1880, de nombreuses théories électromagnétiques sont en concurrence³⁸.

Le mécanicien français Poincaré, qui se revendique de la rigueur mathématique, est désarçonné par l'attitude désinvolte de Maxwell qui n'hésite pas à utiliser des hypothèses contradictoires.

Le savant anglais (sic) ne cherche pas à construire un édifice unique, définitif et bien ordonné, il semble plutôt qu'il élève un grand nombre de constructions provisoires et indépendantes, entre lesquelles les communications sont difficiles et quelquefois impossibles. ...

³⁶ La symétrie n'est parfaite que dans le vide : elle est "brisée" par l'introduction de matière ou de charges électriques.

³⁷ B. HUNT, *The maxwellians*, Cornell University Press, Ithaca and London, 1991, pp. 108-128.

³⁸ J.J. THOMSON, dans son "Report on electric theories" à la British Association for the Advancement of Science de 1888, mentionne l'existence d'une douzaine de théories électromagnétiques rivales. Trois théories sont compatibles avec la conservation de l'énergie et les lois de Coulomb, Ampère et Faraday : celles de Weber, Neumann (forces à distance) et Maxwell (ondes dans l'éther) ; Helmholtz fait une généralisation des trois théories (avec une constante k dont des valeurs déterminées correspondent aux différentes théories). Voir J. GIEDYMIN, "Geometrical and physical conventionalism of Henri Poincaré in epistemological formulation", *Studies in History and Philosophy of Science* 22 (1991), pp. 1-22.

On ne doit pas se flatter d'éviter toute contradiction ; mais il faut en prendre son parti. Deux théories contradictoires peuvent en effet, pourvu qu'on ne les mêle pas, et qu'on n'y cherche pas le fond des choses, être toutes deux d'utiles instruments de recherches, et peut-être la lecture de Maxwell serait-elle moins suggestive s'il ne nous avait pas ouvert tant de voies nouvelles divergentes³⁹.

En dépit des fautes et des contradictions qui émaillent le *Traité* de Maxwell — et peut-être grâce à elles —, ce livre a suscité un intense travail de *traduction* des formules qu'il contient dans des ensembles mathématiques plus cohérents, dans des langages qui créent d'autres références aux objets physiques. La théorie de Maxwell est donc radicalement neuve à la fois par les idées et par les pratiques qu'elle suscite.

Les pratiques relèvent d'une activité de modélisation qui concerne un monde électromagnétique très complexe et dont la cohérence mathématique et physique n'est pas assurée globalement. Hertz a suscité le changement dans la perception de l'électrodynamique britannique, faite de modèles contradictoires, en considérant les équations de Maxwell comme des postulats. Kelvin avait développé une série de modèles mécaniques pour représenter les mouvements électriques, et ces modèles ne se voulaient pas uniquement heuristiques ou pédagogiques, mais également réalistes⁴⁰. De cette recherche sont nées d'innombrables représentations mécaniques de l'éther. De son côté Maxwell a progressivement abandonné la prétention des modèles à décrire la réalité⁴¹. En constatant qu'à un même objet physique peuvent correspondre plusieurs modèles différents, il considère, d'une part, les modèles comme des "instruments de recherche" et, d'autre part, au-delà des modèles-fiction, il affirme une réalité imperturbable faite d'une danse harmonieuse des molécules.

Pour qu'un système de métaphores mérite le nom de système scientifique, il faut que chaque terme, dans sa nouvelle acception, conserve avec les autres termes du système ses rapports originels. Et alors ce système n'est pas seulement un ensemble de déductions légitimement déduites, mais un véritable instrument de recherches. ...

³⁹H. POINCARÉ, op. cit., p. iv-v. Selon R. KARGON ("Model and analogy in victorian science: Maxwell's critique of the French physicists", *Journal of the history of ideas* 30 (1969), pp. 423-436), tandis que les Français considèrent l'astronomie comme le sommet des sciences, les Anglais sont plus influencés par la révolution industrielle.

⁴⁰C. SMITH & N. WISE, op. cit., décrivent comme d'un seul tenant les options religieuses, philosophiques, scientifiques et industrielles de Kelvin. Pour celui-ci, Dieu, agent des lois de la nature, est à la fois connaissance et puissance, et il appartient à l'homme de révéler les lois dans des représentations théoriques et en les mettant en pratique dans des applications techniques.

⁴¹M. MORRISON, "A study in theory unification : the case of Maxwell's electromagnetic theory", *Studies in History and Philosophy of Science* 23 (1992), pp. 103-45.

Je ne ferai plus qu'une remarque sur les rapports des mathématiques et de la physique. En soi, l'une est une opération de l'intelligence, l'autre un mouvement, une danse de molécules. *Les molécules obéissent à des lois qui leur sont propres, et parmi lesquelles nous choisissons celles qui sont les plus intelligibles et les plus faciles à soumettre au calcul.* Nous construisons notre théorie sur ces données partielles, et quand les phénomènes sont en désaccord avec elle, nous l'attribuons à des causes perturbatrices. Mais ces causes perturbatrices sont en réalité parfaitement normales ; ce sont des circonstances que nous ne connaissons pas ou que nous avons négligées, et dont nous nous efforcerons de tenir compte dans l'avenir. Les soi-disant perturbations sont de simples fictions de l'esprit, et non un fait de la nature : dans la réalité, il n'y a pas de perturbations⁴².

Maxwell élabore donc une pensée physique qui s'articule autour de deux niveaux. Le premier, qui prolonge les images réalistes et mécaniques de Kelvin, est l'affirmation d'une représentation légale et de principe, inaccessible par la manipulation des causes mais nécessaire physiquement. Le second niveau, mathématique, consiste en "une opération de l'intelligence" ou, selon le mot de Poincaré, en "d'utiles instruments de recherches". A l'inverse d'un Poincaré qui attache de l'importance à la définition de la nature de l'électricité (fluide unique ou double, particules, etc.), la pensée de Maxwell est toute tournée vers l'articulation des deux niveaux, ce qui ne manque pas d'introduire des idées contradictoires.

Cependant, Maxwell affirme la supériorité du monde des principes mathématiques. L'activité du mathématicien est la "conception et [la] démonstration de cette harmonie idéale qu'il sent devoir être le fondement de toute connaissance, la source de tout plaisir et la condition de toute action"⁴³. La représentation simple des propriétés de la matière a de plus en plus lieu au sein même des équations : le critère de vérité d'une théorie est désormais tendu entre l'harmonie mathématique et la représentation immédiate des phénomènes. Dans la théorie de Maxwell, les relations entre les grandeurs physiques et les correspondances entre les équations sont simples ; les fonctions s'accordent remarquablement avec les symétries des structures des équations. Mais dès lors que seul un accès partiel à ce monde des principes est disponible, le fossé se creuse entre les outils mathématiques et une représentation physique qui en serait l'image immédiate. La représentation mathématique prend de plus en plus d'autonomie. Ce mouvement est d'ailleurs institutionnalisé par l'instauration dans les universités de chaires de physique théorique.

⁴²J.C. MAXWELL, "Rapports des sciences physiques avec les sciences mathématiques - Théorie atomique" (BAAS, Liverpool), *RS* 8 (1871), p. 236-237. Je souligne.

⁴³Ibid., p. 232.

7. La physique procure de nouvelles demeures à la fée

Dans les années 1860-1890, un curieux croisement a lieu. La division et la précision du travail de la nature s'étend et se complexifie parallèlement au travail des représentations de la matière. La vulgarisation scientifique qui est en plein essor tente de communiquer au plus grand nombre des représentations, et des nouvelles machines, et des théories. En cette époque électromagnétique, les récits semblent coïncider avec la description que les savants font du monde. Les machines électromagnétiques produisent des effets macroscopiques explicables par des analogies simples. La notion de loi décrit aussi bien tel phénomène particulier qu'une théorie générale. Cependant, la description théorique devient de plus en plus mathématique et peut de moins en moins répondre à des intuitions mécanistes. Les physiciens travaillent certes la matière, mais ils travaillent aussi de plus en plus leurs représentations. La division du travail au sein même des représentations devient trop compliquée pour être vulgarisée. Les machines et les représentations continuent à être vulgarisées, mais sans plus de correspondance directe.

L'extension de l'électricité aux objets quotidiens s'accompagne d'une intense vulgarisation des découvertes scientifiques⁴⁴. La grande nouveauté des phénomènes électriques consiste dans le fait qu'ils sont produits systématiquement et scientifiquement à l'aide de machines et d'instruments. Lorsque Jupiter est domestiqué, les savants peuvent multiplier les demeures de la fée, en construisant des machines et en résumant ses apparitions sous forme de lois valables en principe partout.

Ainsi, les cours publics sont très caractéristiques, dans la mise en scène des phénomènes et dans leur fonction sociale. Au XVIII^e siècle, les récits de la "philosophie naturelle" mettaient en scène des phénomènes singuliers et extraordinaires. Les instruments qui servaient à produire la "physique amusante" étaient regroupés dans des "cabinets de curiosité". L'intérêt pour l'électricité se formulait comme une collection d'instruments aux effets étranges, et concernait la noblesse et la riche bourgeoisie⁴⁵. Au XIX^e siècle le phénomène de la science investit de plus en plus de lieux. Les

⁴⁴La *Revue Scientifique* est à mi-chemin entre les revues spécialisées et les revues de grande vulgarisation, étant donné que bon nombre d'articles sont produits par des savants. Au départ, en 1863, la *Revue Scientifique* fonctionne selon le procédé de feuilletons, basés sur des cours donnés dans des institutions prestigieuses (Sorbonne, Royal Institution) et mettant en spectacle des expériences. Vers 1885, pour la physique, les conférences et les traductions d'articles publiés remplacent presque complètement les cours publics, probablement parce que les applications sont devenues lot quotidien — pour les citadins du moins — et que se multiplient les « universités populaires ».

⁴⁵J. TOLAIS, "La physique expérimentale", in *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e siècle*, dir. R. Taton, Hermann, Paris, 1964, pp. 618-645.

phénomènes électriques ne sont plus des faits isolés, mais activement produits dans des réseaux qui s'étendent à travers le monde. Le public potentiellement intéressé au développement de la science s'accroît. Des cours sont organisés pour montrer spectaculairement l'étendue de l'emprise de la science sur la nature.

Tous les phénomènes produits et expliqués par la science ne sont pas susceptibles d'être mis en scène lors de cours publics. Loin s'en faut. Mais l'époque électromagnétique correspond à cette possibilité qu'ont les machines de produire avec très peu d'intermédiaires des effets macroscopiques visibles et lisibles. Ainsi, lorsque la science s'offre en spectacle, sous le regard public, la tension entre les représentations théoriques et les machines se résorbe. La mise en scène de la science dans les cours publics permet la fusion de la représentation et des acteurs, tout en écartant les questions "qui est auteur du récit ?" et "qui est fabricant du décor ?". La distance entre science et industrie est alors théâtralement réduite lors de leçons publiques où la science est exposée par de vénérables savants comme un spectacle sérieux. Ces leçons permettent, en quelque sorte, de joindre le geste à la parole, d'unir le récit du phénomène à sa production simultanée. Alors, le public constate que derrière la collection de faits divers, aussi singuliers soient-ils, se trouve un ensemble de faits ordonnés. Et lorsque les leçons sont nourries d'applaudissements, comme le relatent parfois les comptes-rendus, la science de spectacle galvanise l'assemblée⁴⁶.

Le laboratoire est explicitement conçu comme le lieu de reproduction en miniature de phénomènes naturels. L'arc électrique est d'abord un instrument d'expérimentation lorsqu'il permet à Lissajoux de reproduire le soleil.

Si le soleil nous éclairait à cette heure, nous pourrions l'interroger lui-même à l'aide de l'expérience et le forcer en quelque sorte à nous livrer le secret de sa radiation. Ne regrettez pas trop son absence, son concours fut toujours incertain. Avant que la science n'eût gravi les degrés du grand amphithéâtre pour se manifester avec plus d'éclat à un auditoire plus nombreux, nous avons assisté bien des fois, il y a quelques années, aux angoisses du professeur attendant une éclaircie pour tenter une expérience d'optique, préparant avec grand soin, dans son amphithéâtre encore vide, une séance de démonstration expérimentale, et obligé, au moment de sa leçon, par l'invasion des nuages, à discourir, la craie à la main, sur les mérites du soleil absent.

Aujourd'hui, plus de ces mécomptes ; le professeur a sous la main un soleil réduit et complaisant, la lumière électrique. Par son éclat et ses propriétés, elle est l'image fidèle de la lumière solaire⁴⁷

⁴⁶Les leçons scientifiques de la Sorbonne ont lieu le soir, et sont accessibles sur présentation de cartes personnelles. Voir J. JACQUES & D. RAICHWARG, *Savants et ignorants : Une histoire de la vulgarisation des sciences*, Paris, Le Seuil, 1991, pp. 157-158.

⁴⁷RS 3 (1866), p. 537.

Manifestement, les procédés électriques sont les plus spectaculaires, faisant du physicien une sorte de magicien qui ne craint pas d'expliquer ses "trucs". Lors d'une soirée scientifique à la Sorbonne, Jules Jamin impressionne son auditoire avec un phare électrique et des allumeurs électriques des becs de gaz.

La salle étant plongée dans l'obscurité par l'interruption du courant qui alimente le phare et par la fermeture du compteur à gaz, il rallume instantanément tous les becs en faisant jaillir l'étincelle de Ruhmkorff à l'extrémité des fils. L'habile physicien manœuvre lui-même son appareil⁴⁸.

Le récit s'appuie ici sur l'exposition publique de phénomènes, spectaculaires si possible. Tel est le rôle des leçons de choses : susciter un intérêt pour des phénomènes qui ne se rencontrent pas comme cela dans la nature, familiariser les gens avec des instruments promis, d'une façon ou d'une autre, à intervenir dans leurs vies. D'une manière générale, l'extension, dans les espaces quotidiens, des phénomènes (entre autres électriques) s'accompagne de récits qui font correspondre les connaissances aux gestes pratiques de production de ces connaissances.

Aujourd'hui l'humanité a conquis le droit de dire :

La nature matérielle et les forces auxquelles elle obéit n'ont plus de secret que je connaisse ou que je ne puisse connaître un jour ;

L'histoire de la terre n'a plus rien de mystérieux pour moi ...

Mon œil pénètre la profondeur de l'univers ...

Je pèse le soleil et j'analyse les substances dont il est formé ...

Je joue avec les forces de la nature ; je transforme la lumière en chaleur, la chaleur en lumière, l'électricité en magnétisme, le magnétisme en électricité, toutes ces formes de l'activité en puissance mécanique ; je convertis les uns dans les autres les composés de la chimie ; j'imité tous les procédés de la nature morte et la plupart de ceux de la nature vivante ; ...

Je plie à mon usage toutes les forces et tous les dons de la terre ; je me sers même de forces dérivées qu'elle ignore peut-être, et de substances complexes qu'elles n'a probablement jamais produites⁴⁹.

Ce récapitulatif des découvertes scientifiques par Jean-Baptiste Dumas, particulièrement lyrique, identifie le savoir avec la construction de ce savoir (voir, peser, analyser, combiner, convertir, imiter, produire). Et comme le savoir ainsi produit s'étend à l'ensemble de la matière visible, les lois qui leur correspondent s'appliquent partout. Cependant, cette correspondance entre le "faire" et le "dire" des savants ne s'étend pas spontanément dans le monde.

En toile de fond, les stratégies de précision peuvent être célébrées car la description pratique des phénomènes coïncide avec leur représentation théorique. Ainsi, le récit des applications de

⁴⁸RS 1, 12 mars 1864.

⁴⁹RS 3 (1866), p. 240.

l'électricité est lié à une possibilité rendue nécessaire (la conservation de l'énergie) et à une précision des dispositifs. La physique procure de nouvelles relations fines des milieux. L'époque électromagnétique modifie les espaces de façons particulières. Les phénomènes ne sont plus uniquement produits localement. Ils peuvent désormais se propager. Leurs relations sont de plus en plus fines, ouvrant sans cesse de nouvelles voies à l'approfondissement des connaissances de la matière. La notion de champ pénètre la physique : à tout point de l'espace et en un temps donné correspondent des valeurs déterminées de certaines grandeurs physiques. Avec les ondes électromagnétiques, c'est tout l'espace qui est virtuellement investi de valeurs, qui n'ont rien à envier aux valeurs astronomiques, puisque «une onde lumineuse est une suite de courants ... qui changent de sens un quadrillion de fois par seconde»⁵⁰. Brièvement, la « mesure » de l'espace n'appartient plus uniquement aux êtres géométriques mais également aux fonctions.

Alors qu'au XIX^e siècle, les savants ont la possibilité de faire coïncider la description de l'espace avec ses agencements pratiques, aujourd'hui, il semble difficile de produire un récit qui inclurait de manière naturelle le big bang et l'ordinateur — tous deux issus, entre autres, de pratiques de la physique. La vulgarisation de la physique a subi une transformation radicale avec l'avènement de la théorie de la relativité (restreinte puis générale) par Einstein. D'emblée réputée incompréhensible, cette théorie a suscité un engouement qui n'a rien à voir avec son contenu physique. Quand Einstein vient présenter sa théorie à Paris en 1922, ceux qui veulent le voir sont considérés comme snobs car sa théorie dépasse tout entendement commun. Avec Einstein on renonce à une vulgarisation «réaliste» : de toutes façons sa théorie ne concerne pas le monde quotidien⁵¹.

Au niveau de la physique mathématique, la relativité prolonge les pratiques théoriques de l'électromagnétisme : les bases des équations ne sont plus des mouvements (atomes, éther, électrons) mais des structures qui articulent les différentes théories. Les lois de Newton sont des approximations de principes qui dirigent un monde sans commune mesure avec notre monde ordinaire. Les constantes universelles sont une autre découverte fondamentale de la physique au début du XX^e siècle : il existe des étalons universels des phénomènes. Selon que la valeur d'un phénomène est proche ou non de la valeur d'une constante universelle, il n'appartient pas au même monde théorique. Une particule dont la vitesse est proche de celle de la lumière n'obéit aux lois de

⁵⁰H. POINCARÉ, «La lumière et l'électricité», *RS* 53 (1894), p. 108.

⁵¹M. BIEZUNSKI, *Einstein à Paris*, Presses Universitaires de Vincennes, 1991, pp. 48-49.

la physique classique mais au principe de relativité. Dès lors, les constantes universelles interdisent de se faire une représentation astronomique du monde, de pouvoir imaginer que les phénomènes sont identiques à toutes les échelles.

L'époque électromagnétique se distingue donc par une remarquable coïncidence : les récits qui parlent du fonctionnement des machines et ceux qui décrivent le monde sont les mêmes. Les phénomènes électriques sont fabriqués dans les laboratoires, mais ils représentent en même temps les lois de la nature. Les savants semblent alors dire ce qu'ils font et faire ce qu'ils disent.

[3] L'économie et la thermodynamique : analyse critique des thèses de Georgescu-Roegen

in *Cahiers Marxistes* 235, 2007, pp. 139-155. Co-auteur :
P. Gillis.

Etant donné que le « mouvement de la décroissance » fait régulièrement référence aux travaux de Nicholas Georgescu-Roegen — réputés très techniques puisqu'ils mêlent physique et économie—, il nous a semblé utile d'analyser les arguments développés par cet auteur afin d'en comprendre les hypothèses et la portée¹.

1. Quelle est la cible des critiques de Georgescu-Roegen ?

Georgescu-Roegen s'en prend aux économistes, (presque) toutes obédiences confondues, à qui il reproche de s'appuyer sur des modèles mécanistes, c'est-à-dire sur une partie seulement de la physique.² En effet, la critique de Georgescu-Roegen a pour fondement la thermodynamique et ses deux premiers principes. Il reproche aux économistes de ne s'inspirer que du premier principe (la conservation de l'énergie) et d'oublier le second (l'irréversibilité des phénomènes pour lesquels il y a échange de chaleur). Dans cette perspective, il poursuit une double démonstration : 1) l'oubli de l'irréversibilité est la traduction directe de l'absence de prise en compte par les économistes du coût des matières premières, extérieures à la loi de la valeur, tant chez les économistes classiques que chez les marxistes. Georgescu-Roegen a en effet pour souci principal l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. 2) L'économie n'est pas une science théorique, et ne saurait l'être car

¹ Nous avons étudié attentivement l'ouvrage *La décroissance. Entropie-écologie-économie* qui est un recueil de textes destinés à un public non versé dans l'économie, et que l'on trouve sous forme électronique sur le site <http://classiques.uqac.ca/>. Remarquons que ce recueil n'est pas exempt de contradictions, et qu'il n'est pas toujours facile de se faire une idée précise des thèses avancées. La numérotation des citations reprise dans cet article suit cette édition.

Afin de vérifier l'une ou l'autre hypothèse, nous avons également consulté *La science économique, ses problèmes et ses difficultés* (Dunod, 1970) et *The Entropy Law and the Economic Process* (Harvard University Press, 1971).

² Cette critique a été développée par P. Mirowski, *More Heat than Light Economics as Social Physics: Physics as Nature's Economics*, Cambridge University Press, 1989.

elle n'est pas universelle. L'économie dépend la société et de ses institutions dont elle est censée donner une description. La discipline économique est avant tout un opportunisme pratique.³

On notera pour commencer que les économistes visés sont d'abord des analystes du capitalisme, plus ou moins enthousiastes, plus ou moins critiques, tous ne portant pas le même jugement sur ses performances⁴. C'est en étudiant le capitalisme que les analystes ont été amenés à constater que le marché a toujours fonctionné en associant à un produit la quantité de travail nécessaire à sa fabrication, toutes étapes confondues, quantité qui fixe sa valeur, au-delà des fluctuations du marché et de l'offre et de la demande momentanées. Certes, ces fluctuations autorisent régulièrement des pratiques spéculatives qui jouent sur des effets de rareté temporaires, ou plus ou moins durables – à ne pas confondre, à nos yeux, avec une authentique prise en compte d'une « valeur » intrinsèque des matières premières que le marché ignore. En d'autres termes, la critique de Georgescu-Roegen prend tout son sens comme critique radicale du capitalisme, sous un angle qu'on peut qualifier d'écologiste : à suivre Georgescu-Roegen, on pourrait croire que le capitalisme est un mode de production dont quelques théoriciens ont dessiné et imposé les règles, plutôt que le résultat d'une domination sociale. Les critiques de Georgescu-Roegen sont relativement « académiques » puisque ce sont les analystes qui sont visés, plutôt que les industriels par exemple. La critique de Georgescu-Roegen adopte un point de vue normatif – « il faudrait » que les choses se passent autrement, et l'économie « devrait » tenir compte du caractère fini des ressources matérielles à la disposition de l'humanité, sans quoi nous allons à la catastrophe. Bien sûr, et surtout au XX^e siècle, les « théories » (on les qualifierait peut-être plus justement de légitimations du capitalisme réel) élaborées par les économistes orthodoxes, souvent sanctifiées par l'octroi du

³ Voir *The Entropy Law and the Economic Process*, op. cit., pp. 322-330.

⁴ C'est évidemment le nom de Marx auquel on pense d'abord quand on évoque les analystes critiques. L'œuvre de Marx a en effet permis de révéler un rapport social de domination comme fondant les règles qui président aux échanges économiques, y compris (et surtout !) ceux qui concernent la force de travail, alors que ces règles sont plus souvent présentées comme un fait de nature. Mais soyons de bon compte, la critique marxienne est essentiellement extrinsèque au point de vue écologique. On conteste parfois cette extranéité en invoquant le passage suivant, extrait du livre III du *Capital*, et en l'interprétant comme le témoignage de préoccupations écologiques : « *La production capitaliste a pour conséquence de donner plus d'importance à l'utilisation des résidus de la production et de la consommation. [...] Comme résidus de la consommation, nous avons la gadoue, les chiffons, etc., dont certains sont de la plus haute importance pour l'agriculture, bien que leur utilisation donne lieu, dans la société capitaliste, à un gaspillage considérable. C'est ainsi qu'à Londres, les déjections de 4 ½ millions d'hommes ne sont employées qu'à empester la Tamise et cela moyennant une dépense énorme.* » Nous faisons une autre lecture de ce texte, moins anachronique : c'est d'abord le fait que les déjections des Londoniens ne sont pas valorisées pour augmenter les rendements agricoles qui chagrine Marx, avant les retombées urbaines désagréables que ce gaspillage entraîne.

pseudo prix Nobel en économie, ont eu un indéniable effet en retour sur le développement de ce capitalisme, puisqu'elles ont inspiré les pratiques d'instances mondiales extrêmement puissantes, comme le FMI ou la Banque Mondiale. Mais il nous semble que Georgescu-Roegen oublie les rapports de force sociopolitiques qui ont permis l'instauration du capitalisme et son maintien.

Disons-le d'emblée : la mise en garde de Georgescu-Roegen emporte notre adhésion, en tant qu'elle vise les impasses écologiques du capitalisme et du productivisme. Les impacts du développement industriel sur l'environnement sont nombreux et exigent des efforts considérables pour répondre aux urgences croissantes et aux cris d'alarme de plus en plus perçants. Le problème le plus immédiat concerne les combustibles fossiles, en raison de leur impact sur le réchauffement du climat, et pour lesquels les données les plus récentes rapprochent brutalement l'échéance de la crise (voir données sur le « pic de Hubbert » ou pic de production du pétrole qui est imminent). Nous pouvons même souscrire à l'importance de la « joie de vivre », qui selon Georgescu-Roegen devrait être la raison de tout système économique.

Pour autant, la tentative de Georgescu-Roegen d'extrapoler le second principe de la thermodynamique nous semble discutable. En outre, Georgescu-Roegen propose une interprétation assez personnelle de la physique, interprétation qui nourrit son analyse thermodynamique mais qui place en fin de compte la physique en position paradoxale. Peut-être sera-t-on d'avis que la discussion de cette interprétation de la physique est inutile, dans la mesure où nous nous déclarons d'accord avec la conclusion finale de l'exposé de Georgescu-Roegen, celle qui affirme le caractère irréversible de l'épuisement des ressources minérales. Nous ne le croyons pas : la démarche de Georgescu-Roegen flirte malheureusement avec un scientisme mode XIX^e siècle, lorsque Georgescu-Roegen tente d'appuyer sa démonstration sur des lois physiques, ni justifiées, ni nécessaires à l'établissement de ses conclusions. Pour la clarté du débat, nous nous livrerons donc à la critique de la version « Georgescu-Roegen » de la thermodynamique.

2. Pourquoi Georgescu-Roegen ajoute-t-il un « quatrième principe » à la thermodynamique ?

Georgescu-Roegen part du constat que, pour les économistes, ce qui a de la valeur possède une basse entropie. « La matière-énergie absorbée par le processus économique l'est dans un état de *basse entropie* et elle en sort dans un état de *haute entropie*. » (42) Les minéraux ou les combustibles

fossiles sont de basse entropie, c'est-à-dire qu'ils contiennent à la fois une grande organisation moléculaire et une grande valeur économique ; tandis que les déchets et rejets sont de haute entropie, désordonnés et sans grande valeur. La somme de l'entropie « produite » lors de la fabrication d'un artefact doit comprendre aussi bien l'entropie (basse) de l'artefact que l'entropie (élevée) des rejets tout au long de la chaîne de production. Dès lors, d'après Georgescu-Roegen, la quantité d'entropie faible incluse dans notre environnement décroît continuellement et inévitablement : « nous ne pouvons utiliser qu'une fois une quantité donnée d'entropie faible »⁵. En fait, la hantise de Georgescu-Roegen est l'épuisement des ressources minières, c'est-à-dire les stocks de matière de « basse entropie ». « Il faut continuellement puiser à certaines sources pour renouveler les artefacts qui sont à présent une partie essentielle de notre mode de vie. » (69)

Afin d'asseoir cette idée sur un socle théorique plus ferme, il énonce une « 4^e loi de la thermodynamique »⁶ : « Une formulation intuitive de la quatrième loi est la suivante: *Dans tout système clos, la matière utilisable se dégrade irrévocablement en matière non-utilisable.* » (142) Ou encore : « *Dans un système clos, l'entropie de la matière doit tendre vers un maximum.* » (127) Cette formulation est selon Georgescu-Roegen une extension du second principe de la thermodynamique.

Ce second principe théorise une réalité physique bien connue depuis longtemps, bien avant qu'il ne soit formalisé : spontanément, les flux de chaleur se dirigent toujours des corps chauds vers les corps froids. Remarquons que le premier principe de la thermodynamique, celui qui énonce la conservation de l'énergie sous toutes ses formes, n'implique pas le second : on pourrait imaginer que lorsqu'on place un poêlon d'eau froide sur un bec de gaz allumé, l'eau devienne encore plus froide, alors que la flamme se réchaufferait. Le principe de conservation de l'énergie serait satisfait pourvu que les calories cédées par l'eau froide se retrouvent dans la flamme. Mais personne n'a jamais réussi à surgeler des pommes de terre en les mettant dans une casserole d'eau exposée à une flamme. Au début du XIX^e siècle, Carnot a produit la théorie de cette irréversibilité (les systèmes isolés évoluent spontanément vers l'équilibre thermique, et une fois qu'ils l'ont atteint, ils ne s'en écartent jamais d'eux-mêmes) ; les seules transformations réversibles sont celles qui résultent d'un transfert de chaleur entre deux systèmes ou parties de système qui ne sont pas rigoureusement à la même température, mais la différence qui sépare leurs températures doit tendre vers zéro – ce qui

⁵ La science économique, ses problèmes et ses difficultés, op. cit., p. 96.

⁶ On cite souvent les deux premiers principes de la thermodynamique, mais nettement moins le 3^e qui est d'ailleurs d'une moindre importance : il concerne la définition de l'entropie au zéro absolu de température.

fait des transformations réversibles une vue de l'esprit. Clausius a ensuite développé les premiers résultats de Carnot en introduisant la notion d'entropie d'un système, dont la variation est définie comme l'entrée de chaleur dans ce système par degré (il s'agit donc du rapport entre l'entrée de chaleur et la température absolue). On comprend donc immédiatement que l'entropie d'un système augmente quand on le réchauffe, c'est-à-dire lorsqu'il reçoit de la chaleur, et qu'elle diminue quand on le refroidit, c'est-à-dire lorsqu'il cède de la chaleur. Le second principe peut se formuler en termes d'entropie : spontanément, l'entropie d'un système isolé ne peut qu'augmenter, elle ne diminue jamais, et elle se stabilise à une valeur maximale une fois l'équilibre thermique atteint. Sur cette base, et pour les états d'équilibre, les physiciens ont été capables de quantifier la valeur de l'entropie de différents systèmes (pas parmi les plus complexes !), et ces valeurs ont été identifiées par après comme une mesure de l'état d'ordre du système, dans le sens suivant : les paramètres typiques de l'état d'un système sont macroscopiques – pour un gaz, on évoquera le volume qu'il occupe, sa pression, sa température, et cet état macroscopique peut éventuellement correspondre à de nombreux ordonnancements microscopiques différents. L'entropie est alors d'autant plus élevée qu'est grand le nombre de manières différentes d'agencer microscopiquement le système. Ainsi, un état totalement ordonné se caractérise par le fait que les molécules qui le constituent ne peuvent s'agencer que d'une seule manière, et son entropie est nulle.

On retiendra de ce qui précède que les variations d'entropie, vers le haut ou vers le bas, sont associées à des flux d'énergie. Le 4^e principe de Georgescu-Roegen dit tout autre chose : il parle de l'augmentation spontanée de l'entropie de la matière. Quand Georgescu-Roegen invoque la matière et parle de son entropie, il est toujours question des états d'équilibre de cette matière (Georgescu-Roegen compare ainsi de l'entropie du cuivre pur et celle du minerai dont il est extrait). Georgescu-Roegen se montre d'ailleurs explicitement sceptique face aux travaux impliquant des situations de déséquilibre dynamique (les structures dissipatives) : « Une hypothèse, soutenue par la thermodynamique statistique consiste à dire que l'entropie peut décroître en certains lieux de l'univers, de telle sorte que l'univers vieillisse et rajeunisse à la fois. Mais il n'existe aucune preuve observationnelle d'une telle possibilité. » (63)

On peut facilement imaginer un contre-exemple à la généralisation de Georgescu-Roegen, à condition de s'en tenir aux états d'équilibre, comme il le fait. Soit un verre d'eau, thermiquement isolé de son environnement, contenant un glaçon, l'eau comme la glace étant à la température de 0°C. Du point de vue de l'entropie, les deux composants du système diffèrent évidemment : la

glace est plus ordonnée que l'eau, et son entropie d'équilibre est plus basse. Mais notre système est à l'équilibre thermique, puisque sa température est uniforme (0°C), il n'est donc le siège d'aucun flux de chaleur, et les entropies spécifiques de la glace et de l'eau n'ont aucune raison de s'égaliser : l'eau, dont l'entropie est plus élevée, ne cédera aucune entropie à la glace. Si l'on considère la glace comme « matière utilisable », l'idée de Georgescu-Roegen apparaît donc comme hors du domaine de validité de la thermodynamique, et, contrairement au second principe, elle peut être mise en défaut.

La proposition selon laquelle, « *dans un système clos, l'entropie de la matière doit tendre vers un maximum* » (127), n'est vraie que si la matière est mise en mouvement, qu'il existe du frottement et que par conséquent la matière est « dissipée ». Mais si l'on prend le cas d'un bloc de minerai quelconque auquel on ne touche pas, celui-ci peut demeurer dans son état d'entropie relativement élevée pendant des millions d'années. Si en revanche ce bloc est utilisé à des fins humaines pour en extraire une matière utilisable, le principe de Georgescu-Roegen est alors intuitivement évident, sous réserve de définir l'« entropie de la matière » — ce que Georgescu-Roegen se garde bien de faire.

La thermodynamique combine subtilement flux d'énergie et variation d'entropie, en les pensant comme des phénomènes en compétition. La construction théorique de Georgescu-Roegen isole l'entropie. L'activité industrielle transforme activement la matière, elle en modifie en effet l'entropie, au prix d'une consommation élevée d'énergie – c'est précisément là que se trouve le problème discuté. Dans bien des cas, on pourrait cependant imaginer une transformation industrielle inversée, réalisant un retour vers le composé initial, souvent de plus basse entropie d'équilibre. Mais il ne faut surtout pas se tromper sur un point : loin de récupérer l'énergie investie dans la première transformation, on serait contraint d'en injecter davantage.

Georgescu-Roegen ajoute implicitement que son 4^e principe n'est pas vraiment nécessaire puisque « la Loi de l'Entropie, sous sa forme actuelle, stipule que *la matière aussi est soumise à une dissipation irrévocable.* » (63) Autrement dit, ce « 4^e principe » ne sert pas à modéliser les phénomènes, mais plutôt à garder à l'esprit une évidence. Il n'a donc pas le même statut que les trois autres principes. L'évidence que Georgescu-Roegen désire inculquer aux économistes est la nécessité de prendre en compte les ressources naturelles de valeur. Il insiste notamment sur les limites du recyclage, et il a formellement raison de dire que la valorisation des déchets ne peut compenser la

dégradation générale. « Pour les économistes, il est très important de reconnaître que la Loi de l'Entropie est la racine de la rareté économique. » (65)

Pourquoi Georgescu-Roegen veut-il formuler l'évidence décrite ci-dessus (l'épuisement des ressources naturelles) comme un pseudo-principe de physique ? D'un côté, il affirme à plusieurs reprises l'intérêt de la thermodynamique comme une « science de l'ingénieur », qui ne peut se réduire simplement à la formalisation de la physique théorique et qui a des parentés avec l'économie. Il revendique l'anthropomorphisme des définitions qu'il donne (entropie, et énergie libre, par exemple) et le fait qu'elles sont basées sur des intuitions. Mais si l'économie n'est pas une science théorique (comme le pense Georgescu-Roegen), quel est l'intérêt de puiser dans l'arsenal de la physique pour ajouter un principe théorique à l'économie ? En outre, cette intervention se retourne contre son auteur car, contrairement à sa construction théorique, la physique passe les concepts aux filtres des mathématiques et des dispositifs expérimentaux, et les éloigne ainsi des intuitions anthropomorphes *a priori*.

Un autre point appelle une discussion : NGR affirme que « *la loi de l'entropie* [le second principe de la thermodynamique] *est la seule loi naturelle dont la prédiction n'est pas quantitative* » (65). L'entropie relève bien d'une définition quantitative : nous avons rappelé plus haut la définition de la variation d'entropie par Clausius, et si on complète cette définition à l'aide du 3^e principe, dû à Nernst (l'entropie d'un système physique à température nulle est nulle, de sorte que le zéro de l'échelle des variations est fixé), on dispose d'une définition parfaitement quantitative, ce qui permet de ranger « la loi de l'entropie » parmi les lois physiques – ce principe parle d'une grandeur mathématiquement définie. Stricto sensu, le second principe ne définit pas l'entropie – il affirme que l'entropie d'un système isolé ne peut qu'augmenter, seules les transformations réversibles assurant l'invariance de l'entropie, et il précise comment l'entropie varie. Georgescu-Roegen repère donc bien une particularité du deuxième principe de la thermodynamique en physique : il s'exprime sous la forme d'une inéquation. Bien que fondamental quant à sa portée, ce second principe sert finalement surtout à poser une limite au rendement d'une transformation – celui qu'on pourrait atteindre en considérant une transformation réversible virtuelle dans le même système physique, mais il est pratiquement beaucoup moins utilisé que le premier, celui qui exprime la conservation de l'énergie. Cet argument est parfois utilisé pour montrer la limite de la mathématisation en physique.

3. Incursions non maîtrisées en physique

L'ambiguïté de la cible de Georgescu-Roegen est particulièrement perceptible quand il s'attache à donner ses interprétations de la physique. Nous allons successivement analyser sa critique virulente de la mécanique statistique et son interprétation réductrice de la formule d'Einstein $E = mc^2$.

Georgescu-Roegen s'en prend à l'interprétation statistique de la thermodynamique. Voici ce qu'il en dit (45) : « ... le dogme mécaniste a maintenu son emprise (et la maintient encore) sur l'activité scientifique après même que la physique l'a renié. Il en est résulté que la mécanique a bientôt été réintroduite dans la thermodynamique en compagnie de la probabilité. Or, c'est la plus étrange compagnie qui se puisse trouver, car le hasard est l'antithèse même de la nature déterministe des lois de la mécanique. Bien sûr, le nouvel édifice, connu sous le nom de mécanique statistique, ne pouvait à la fois abriter la mécanique et exclure la réversibilité. Aussi la mécanique statistique doit-elle enseigner qu'une casserole d'eau pourrait se mettre à bouillir d'elle-même, idée qu'elle escamote toutefois en arguant qu'un tel miracle n'a jamais été observé en raison de sa probabilité extrêmement faible. Cette attitude a facilité la croyance en la possibilité de convertir de l'énergie liée en énergie libre⁷, ou, comme P.W. Bridgman le dit spirituellement, de faire de la contrebande d'entropie. »

A notre connaissance, l'interprétation statistique de la thermodynamique en termes moléculaires n'est aujourd'hui plus du tout mise en cause. Prenons par exemple la température, grandeur macroscopique bien connue dont le rôle est central dans les questions que nous discutons. On peut définir la température, notamment en s'appuyant sur le second principe : c'est une grandeur qui détermine l'existence ou l'absence de flux de chaleur entre deux systèmes – si de la chaleur passe du premier au second, c'est que la température du premier est plus élevée que celle du second. On peut aussi dire, dans une version nettement instrumentaliste, que c'est ce qu'on mesure avec un thermomètre. Un important résultat de la mécanique statistique est de montrer que la température absolue est une mesure de l'énergie cinétique moyenne (c'est-à-dire la moyenne de

⁷ Les concepts d'énergie libre et d'énergie liée utilisés par Georgescu-Roegen ne sont pas ceux que les physiciens mettent d'habitude derrière ces termes. Pour lui, l'énergie libre est utilisable par l'homme, qui la maîtrise, alors que l'énergie liée ne l'est pas. En thermodynamique classique, ce que Georgescu-Roegen appelle de l'énergie libre est du travail, susceptible d'être recueilli à la sortie d'un moteur, et qui peut servir à actionner des machines-outils, alors que l'énergie liée est de la chaleur, qui ne peut servir aux mêmes fins. Cette distinction entre travail et chaleur est typiquement macroscopique, elle n'a pas de sens à l'échelle microscopique, et un des mérites de la mécanique statistique est précisément de permettre de comprendre la distinction.

l'énergie due au mouvement), moyenne prise sur l'ensemble des molécules formant notre système. S'il nous prenait la fantaisie de suivre une molécule dans son parcours, on verrait son énergie cinétique varier sans cesse, notamment lors de chacune des collisions qu'elle subit avec ses congénères. Cette constatation n'empêche pourtant pas la moyenne de cette grandeur fluctuante de s'avérer parfaitement stable à l'échelle d'un système isolé, et cette assimilation de la température à la moyenne de l'énergie des particules n'a jamais été mise en défaut.

« *Un esprit non anthropomorphique ne pourrait pas comprendre le concept d'entropie — ordre qui [...] ne peut être séparé de la compréhension intuitive des buts humains.* »⁸ Or l'interprétation statistique a précisément pour ambition d'objectiver le second principe et de donner une définition formelle de l'entropie via le nombre de configurations possibles d'un système donné. En fait, s'opposer à l'interprétation statistique de la thermodynamique revient à contester que la matière est structurée en atomes et molécules, position assez répandue au début du XX^e siècle, parmi ceux qu'on appelait les énergétistes (Mach, Ostwald), mais que les travaux de Perrin, acceptés comme une preuve de l'existence des atomes, ont précipitée dans l'oubli. Remarquons, toujours à ce sujet, que la possibilité de faire de la contrebande d'entropie n'est nullement autorisée par la statistique. Ici aussi, prenons un petit exemple : chacun sait que quand on joue à pile ou face, la pièce peut retomber du côté pile ou du côté face. Il n'y a donc aucune impossibilité matérielle à voir la pièce retomber mille fois du côté pile si on la lance mille fois. Mais il est tout aussi évident que celui qui aurait joué en procédant à mille lancers et qui serait confronté à ce résultat miraculeux (mille fois pile) en conclurait (à juste titre !) que la pièce est truquée.

La manière dont Georgescu-Roegen fige absolument la distinction entre énergie libre et énergie liée, comme si l'énergie liée nous était totalement inaccessible, relève de la même logique, celle du rejet de la mécanique statistique. Le fameux résultat de Carnot, celui par lequel il précise les limites qui pèsent sur le rendement des machines thermiques (« *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* », 1824) nous apprend que le travail qu'une machine thermique⁹ peut fournir ne peut jamais être égal à la chaleur qui lui est communiquée, mais que dans le meilleur des cas, il ne peut que s'approcher d'une proportion de cette chaleur, celle qu'on obtient en la multipliant par le rapport entre deux températures absolues,

⁸ La science économique, ses problèmes et ses difficultés, op. cit., p. 95.

⁹ A l'époque de Carnot, les machines visées étaient les machines à vapeur, mais la même limitation s'applique aux centrales électriques de type thermique (et peu importe quelle est la source de chaleur – combustion de charbon ou de pétrole, fission ou fusion nucléaire, moteur à explosion, etc.).

d'une part la différence entre la température de la source chaude et celle de la source dite froide, indispensable pour refroidir le système et le ramener à son état initial, et d'autre part la température de la source chaude. Dans une machine ordinaire, si la source chaude (celle de la vapeur chaude, suite au chauffage procuré par la chaudière) est à une température de 200°C, soit à peu près 500 K, et que le refroidissement s'effectue à température ambiante, soit à peu près 300 K, la limite en question représente $(500 - 300)/500 = 0,4$ fois la chaleur injectée. Peut-on en conclure que la chaleur évacuée avec le fluide de refroidissement est complètement perdue pour autant ? Non : puisqu'on produit de l'eau chaude, celle-ci pourrait par exemple être utilisée à des fins de chauffage, pour des habitations, des installations collectives, etc. Cette énergie que Georgescu-Roegen appelle liée reste donc utilisable par l'homme.

Par ailleurs, Georgescu-Roegen sous-estime profondément la portée de la fameuse formule d'Einstein $E = mc^2$. Voici, en guise d'illustration, ce qu'il écrit : « Il existe une asymétrie même entre la masse et l'énergie, car s'il n'y avait aucune différence entre ces deux concepts, il n'y aurait aucune raison pour les distinguer dans le vocabulaire scientifique. Avec un choix convenable d'unités, l'équivalence d'Einstein pourrait s'écrire $E = m$. Pourtant, il serait absurde d'en conclure l'identité de l'énergie et de la masse. » (139) Paradoxalement, Georgescu-Roegen touche du doigt la réponse à son objection : ce qu'il dénonce comme absurde est précisément ce que font quotidiennement les physiciens théoriciens, lorsqu'ils formulent leurs théories en adoptant un système d'unités dans lequel $c = 1$. En physique des hautes énergies (ou des particules élémentaires), la masse des particules est donnée en unités d'énergie – dans le jargon des physiciens, la masse d'un proton, c'est 941 MeV, et celle de l'électron 0,51 MeV (1 MeV, c'est un million d'électronvolt, et un électronvolt est l'énergie conférée à une charge électrique élémentaire, celle négative de l'électron ou celle positive du proton, une fois qu'elle a été soumise à une différence de potentiel de 1 Volt).

La discussion de l'équivalence masse-énergie est abordée par Georgescu-Roegen sous un angle inattendu : il s'y engage pour écarter l'idée qu'on pourrait partir de l'énergie pour reconstituer les stocks de combustibles fossiles épuisés. Inattendu, dans la mesure où le nœud de la discussion concerne précisément notre approvisionnement en énergie : si nous disposions d'énergie en quantité suffisante pour en refaire de la matière (et Georgescu-Roegen a parfaitement raison de ne pas prendre cette idée au sérieux !), notre problème d'approvisionnement en énergie serait résolu. Par contre, lorsqu'on envisage la transformation en sens inverse, la formule n'a rien de trompeur.

Ainsi, on pourrait estimer la perte de masse provoquée par la combustion d'une bûche de bois – mais elle ne serait pas mesurable, tellement elle est faible.

Ces incursions non maîtrisées de Georgescu-Roegen en physique témoignent à notre sens d'une fascination mal placée pour la théorie physique, ce qui lui procure une attitude teintée de scientisme. Il octroie en effet beaucoup de pouvoir aux lois de la physique, et en particulier à l'entropie. « En réalité, c'est la Loi de l'Entropie qui explique pourquoi une machine (et même un organisme biologique) finit par s'user » (47). La pollution est également un oubli de l'entropie : « nul ne paraît voir que la cause de [la pollution] réside dans le fait que nous avons négligé de reconnaître la nature entropique du processus économique. » (49) Georgescu-Roegen estime même que c'est l'« indétermination entropique » qui permet à la vie d'avoir lieu. « La loi de l'entropie est la seule loi dont la prédiction n'est pas quantitative. Elle ne spécifie pas de combien sera l'accroissement à tel moment à venir ou quelle configuration entropique particulière surviendra. C'est pourquoi il existe dans le monde réel une indétermination entropique qui permet non seulement à la vie de se développer selon une infinité de formes, mais encore à la plupart des activités d'un organisme vivant de jouir d'une certaine marge de liberté. » (65)

L'affirmation que la loi de l'entropie ne donne pas d'indication quantitative n'est vraie que comme une généralité, tant que les propriétés spécifiques du système physique étudié ne sont pas précisées. Mais lorsque les interactions qui gouvernent l'évolution d'un système sont connues, il est parfaitement possible de calculer la variation d'entropie induite par les réactions dont ce système est le siège. Par ailleurs, ce que NGR appelle l'indétermination entropique correspond à un accroissement d'entropie, alors que l'émergence de la vie, associée à l'apparition de structures éminemment complexes, correspond à une diminution d'entropie...

Ici aussi, nous pensons que la répugnance de NGR à l'égard de l'interprétation statistique de la thermodynamique le pousse à des formulations fantaisistes. A suivre NGR, ce serait le caractère incomplet et partiel des lois physiques qui les rendrait compatibles avec l'existence de la vie. Ce « saut dans l'inconnu » n'est pas nécessaire si l'on met les statistiques en jeu : il n'est pas absurde de voir se réaliser des événements hautement improbables, pour autant que l'on s'entende sur ce qu'on appelle improbable. Dire qu'un événement est improbable, cela signifie que sa probabilité de réalisation par unité de temps est faible. Mais si on laisse un temps très long au système, la probabilité tout court qu'il advienne (cette fois, plus par unité de temps) cesse à la longue d'être négligeable. Et si l'événement débouche sur l'apparition d'une structure relativement stable, la

fluctuation au cours de laquelle cette structure s'est matérialisée peut s'amplifier, pour changer qualitativement le système considéré – dialectique du hasard et de la nécessité, repérée de longue date. Une transformation de ce type ne nous fait pas sortir de la physique: l'événement visé est peu probable, mais certainement pas impossible. Dans ce contexte, on n'établit aucune différence de nature entre matière vivante et matière inerte.

4. Une philosophie de l'histoire pessimiste

La hantise de la décroissance des ressources minérales nourrit chez Georgescu-Roegen une approche pessimiste de l'histoire. « Le destin ultime de l'univers n'est pas la « Mort Thermique » (comme on l'avait d'abord cru) mais un état plus désespérant: le Chaos. » (63) La mort thermique de l'univers était la perspective offerte par les grands récits qui incorporaient le second principe à la fin du XIX^e siècle : l'univers mourrait par une uniformisation de la température. Cette perspective serait remplacée par la dégradation irréversible de la matière. Mais si l'univers va vers le chaos, c'est qu'il vient d'un ordre supérieur — ce qui pose par ailleurs la question de l'origine de toute création d'ordre.

Comme nous l'avons vu, Georgescu-Roegen récuse l'idée que l'entropie peut diminuer localement dans un système fermé, soit un système qui n'échange pas de matière avec son environnement, alors que l'échange d'énergie ne lui est pas interdit. Même les organismes vivants ne semblent pas échapper à cette affirmation. « Tout organisme vivant s'efforce seulement de maintenir constante sa propre entropie. Et dans la mesure où il y parvient il le fait en puisant dans son environnement de la basse entropie afin de compenser l'augmentation de l'entropie à laquelle son organisme est sujet comme tout autre structure matérielle. Mais l'entropie du système total, constitué par l'organisme et son environnement ne peut que croître. En réalité, l'entropie d'un système croît plus vite s'il y a de la vie que s'il n'y en a pas. » (46) Le vivant s'alimente de basse entropie ; il dégrade la matière en transformant les matériaux de basse entropie en déchets de haute entropie. Les plantes ne font que ralentir la marche de l'entropie.

Pourtant un organisme vivant n'est-il pas le plus parfait exemple de la création locale d'ordre à partir de matières de haute entropie ? Les phénomènes du vivant — et particulièrement les plantes qui utilisent le rayonnement solaire — ne sont-ils pas des « mises en ordre » de la matière ? On retrouve ici le refus de NGR face à l'idée des structures dissipatives – structures qui transforment

de l'énergie en entropie, et qui se définissent comme des systèmes fermés. L'entropie de certains systèmes fermés peut donc diminuer pendant la croissance des organismes vivants. Ainsi une plante dans une serre (en considérant donc le système « plante + terre + air »), capte de l'énergie solaire sans échange de matière, mais voit son « entropie de matière » diminuer. Mieux, l'histoire de la vie nous montre combien la création de nouveauté est associée à tout ce qui va à l'encontre de l'augmentation de l'entropie.

L'histoire que nous propose Georgescu-Roegen est essentiellement une eschatologie, une histoire de la fin du monde et du destin de l'humanité. Cette histoire ne comporte pas d'évaluation des durées : Georgescu-Roegen voit la fin de l'humanité, plutôt que la construction pas à pas d'une histoire. Ce faisant, il lève au passage un tabou : pourquoi l'espèce humaine ne serait-elle pas amenée à disparaître un jour, à l'instar de bien d'autres espèces animales ? La possibilité ne peut être écartée sans autre forme de procès, mais la remarque perd beaucoup de son intérêt dès lors qu'aucun pronostic d'échéance ne l'accompagne – quel est l'horizon temporel de cette éventuelle disparition, et quels sont les événements qui pourraient rendre la fin qu'il imagine moins inéluctable que son récit ? L'irruption de la nouveauté ne fait pas partie de ce récit. Ce récit rend incompréhensible l'apparition de l'humain — qui est pourtant la source du problème qu'il soulève.

Comment perpétuer l'espèce humaine si l'univers va vers le chaos ? En effet, le « cœur du problème » est la « quantité de vie totale » qu'il reste à l'humanité, ou autrement dit le nombre d'années que l'humanité peut encore vivre et prospérer (88). La préservation de l'espèce humaine est donc le problème fondamental, la valeur absolue. Or, toujours selon Georgescu-Roegen, l'humanité vit sur des stocks non renouvelables, au lieu de ne puiser que dans le flux d'énergie solaire. L'accessibilité de la matière-énergie utilisable est forcément décroissante. Donc pour maintenir le niveau de vie, il faut soit travailler plus (ce qui a des limites), soit innover toujours plus (et cela demande toujours plus de capital). « Nous ne pouvons compter que sur des ressources minérales à la fois irremplaçables et non renouvelables, dont plusieurs ont été épuisées successivement dans différents pays. À présent d'importants minéraux - le plomb, l'étain, le zinc, le mercure, les métaux précieux - sont rares dans le monde entier » (69)

Il est important de noter que la hantise de Georgescu-Roegen est construite théoriquement : elle ne s'appuie pas sur les données des stocks de minéraux restant, mais sur son interprétation de la « loi de l'entropie » : « nous ne pouvons utiliser une quantité donnée de basse entropie qu'une seule fois » (138).

Georgescu-Roegen est en faveur de ce qu'on appelle en économie la « soutenabilité forte » : le capital naturel est absolu et on ne peut y substituer d'autres formes de capital (technologique notamment)¹⁰. Il s'affirme contre l'idée que « nous trouverons toujours bien quelque chose ». L'urgence de la situation implique selon lui que nous ne pouvons pas attendre que les technologies résolvent nos problèmes. Il explicite d'ailleurs son scepticisme en se référant aux transformations socio-techniques du passé : l'humanité a bénéficié de deux conquêtes prométhéennes, l'une inaugurant l'ère du feu et l'usage du bois, l'autre venue du charbon et de l'invention de la machine à vapeur. Un nouveau Prométhée viendra-t-il résoudre la présente crise de l'énergie de la même manière que Prométhée II a résolu la crise de l'âge du bois, se demande NGR ? (149) De manière surprenante, le seul projet prométhéen évoqué par NGR est le surrégénérateur, à cause de sa capacité à produire de l'énergie à partir des déchets nucléaires produits par les centrales nucléaires standard. Mais les difficultés inhérentes au fonctionnement du surrégénérateur (notamment le fait qu'il est refroidi au sodium, une substance hautement inflammable) ont amené l'abandon de fait des projets de développement de cette technologie. Par contre, NGR ne mentionne pas la fusion nucléaire, alors que son aboutissement rentrerait sans doute possible dans la catégorie des réalisations que NGR qualifie de prométhéennes... Il se contente de contester fortement la possibilité physique de la fusion thermonucléaire, mais il énonce malgré tout : « En attendant que l'utilisation directe de l'énergie solaire soit entrée dans les mœurs ou bien que l'on soit parvenu à contrôler la fusion thermonucléaire [...] » (107) L'ambiguïté de Georgescu-Roegen par rapport aux technologies est aussi manifeste quand il aborde l'utilisation possible ou non du « flux solaire ». D'un côté il affirme la nécessité de fonder l'économie sur l'énergie solaire. De l'autre, il nie la possibilité de faire massivement appel à l'énergie solaire au nom de la dispersion de sa répartition sur toute la surface terrestre. Les technologies sont donc tantôt décriées, tantôt appelées au secours.

Nous pensons qu'un investissement et une réorientation profonde dans la recherche et développement pourrait contribuer à affronter le problème de la production d'énergie¹¹. Le cri de protestation de Georgescu-Roegen emporte notre adhésion, écrivions-nous au début de cet article. Ce n'est pas parce que nous ne croyons pas au 4e principe de la thermodynamique selon Georgescu-Roegen que les combustibles fossiles pourraient voir leur disparition rapide

¹⁰ Voir Edwin Zaccà, *Le développement durable. Dynamique et constitution d'un projet*, Presses Interuniversitaires Européennes, Peter Lang, Berne – Bruxelles, 2002, pp. 241 sq. La soutenabilité faible consiste à l'inverse à affirmer qu'une partie importante du capital naturel peut être remplacé par d'autres formes de capital.

¹¹ Pour l'instant, environ deux tiers des fonds européens pour l'énergie sont consacrés à la recherche nucléaire, laissant peu de ressources aux recherches sur les énergies renouvelables (Renouvelle 17, lettre de l'APERe, 2006).

contrecarrée, par Dieu sait quel miracle ; cette idée n'a pas l'ombre d'une vraisemblance. Oui, nous sommes probablement très proche du fameux « peak oil », et l'ère du tout au pétrole est révolue. La reconstitution de stocks souterrains d'hydrocarbures relève de la géologie, dont l'évolution est scandée par un rythme perceptible à l'échelle de millions d'années.

Il reste, au-delà de ces remarques critiques, que les considérations mettant en jeu l'entropie et le second principe de la thermodynamique sont loin d'être dépourvues d'intérêt pour autant. Notamment pour ce qui demeure au cœur de la thermodynamique, à savoir les effets thermiques, parmi lesquels figurent en bonne place l'effet de serre et le réchauffement de la planète. Même si l'on adopte une attitude résolument optimiste¹² à propos de la fusion nucléaire, qui constitue un enjeu majeur (parce que sa maîtrise nous mettrait pour un bon bout de temps à l'abri des problèmes d'approvisionnement), on doit être conscient que l'accroissement programmé de la production d'électricité créera d'inextricables problèmes de réchauffement.

Si l'on se veut optimiste, on caractérisera les décennies qui sont immédiatement à venir comme une période de transition nécessaire pour faire le joint en attendant la fusion (et en espérant que cette attente ne soit pas celle du Messie). On peut penser pour cela aux réserves de charbon, moins menacées d'épuisement que celles de pétrole. Mais la combustion de grandes quantités de charbon produit du CO₂ en quantités elles-mêmes énormes, et, sans autre précaution, un renforcement tragique de l'effet de serre. Sans autre précaution : on parle à ce sujet d'une captation du CO₂ produit dans les centrales thermiques, qui fonctionneraient alors en circuit fermé. Science fiction ? Sans doute pas, mais là aussi, il reste pas mal de pain sur la planche pour les chercheurs.

Revenons sur l'idée que Georgescu-Roegen se trompe de cible : alors qu'il s'adresse aux économistes, c'est fondamentalement le capitalisme et le productivisme qu'il vise. Reste cependant qu'on peut s'interroger, avec lui, sur la nécessité de fonder une autre science économique, qui n'exclurait pas de ses préoccupations la prise en compte de l'épuisement des ressources naturelles. Si l'on se tourne vers les définitions officielles de l'économie, elles ne sont pas incompatibles avec cette prise en compte. Littré nous dit par exemple que *l'économie politique, c'est la science qui traite de la formation, de la distribution et de la consommation des richesses*, et que *l'économie sociale traite des conditions de l'existence, du travail, des droits civils et politiques des différentes classes de la société*. Formation des richesses,

¹² Les pronostics quant à l'aboutissement des programmes de recherche qui lui sont consacrés sont inquiétants : plus le temps passe, et plus le délai annoncé s'allonge. En 1975, on parlait de la fin du XXe siècle, alors qu'on nous dit aujourd'hui qu'un demi-siècle sera bien nécessaire... En outre, une économie basée sur l'énergie thermonucléaire implique une organisation sociale très centralisée, voire technocratique.

cela ressemble à une entrée possible... D'autres définitions, plus récentes, parlent de production en lieu et place de formation. Mais les définitions s'arrêtent généralement là, tout comme les modèles théoriques de l'économie : on ne parle pas de la disponibilité des ressources naturelles.

Georgescu-Roegen a donc raison d'insister sur ce point. Cette absence peut sans doute s'expliquer parce qu'aucune règle économique (en premier lieu, les règles qui régissent le commerce mondial) n'intègre cette donnée. Pourrait-il en être autrement ? Oui, mais cela passe par l'adoption et la mise en œuvre d'un projet politique planétaire, centré sur d'autres priorités que celle des marchés, et appuyé sur un pouvoir démocratique, par opposition au pouvoir des détenteurs de capitaux. On quitte ainsi radicalement la sphère académique, en s'engageant dans cette voie, même si les mécanismes de fonctionnement d'un système soucieux de l'avenir de la planète et socialement juste méritent des études... scientifiques sérieuses. Mais nous ne pensons pas que celles-ci puissent se penser uniquement comme une extension de la thermodynamique.

[4] Inégalités écologiques : analyse spatiale des impacts générés et subis par les ménages belges.

in *Espace Populations Sociétés* 2008-1, pp.127-143. Co-auteurs : J. Dozzi, M. Lennert.

Résumé

Cet article a pour objectif d'explorer les méthodes pour présenter les inégalités écologiques sur un territoire donné. Nous commençons par définir les inégalités écologiques afin de rendre cette notion opératoire pour des traitements statistiques et cartographiques. Nous interprétons les inégalités écologiques en deux sens : inégalités face aux pollutions et aux dégradations de l'environnement ; inégalités en matière d'impacts sur l'environnement. Nous exposons ensuite ce qu'il est aujourd'hui possible de dire à propos des inégalités écologiques sur un territoire pour lequel le système de collecte de données n'est pas toujours centralisé. Nous montrons les résultats de l'exploration systématique des bases de données quantitatives et comparables pour l'ensemble du territoire de la Belgique, en exposant les variables retenues, diverses corrélations et une analyse par composante principale.

1. Des chiffres et des cartes

Le terme « inégalités écologiques » est apparu récemment, et il est utilisé dans de nombreux contextes différents, sans qu'on puisse en donner une définition univoque.¹ En quel sens les inégalités sont-elles écologiques ? Pour y répondre il faut d'abord définir ce que l'on comprend par « écologie » et par « inégalités ».

Pour le dire rapidement, une analyse écologique vise à appréhender les interactions entre les organismes vivants et le milieu où ils vivent. L'écologie mobilise deux concepts-clé : l'interaction et

¹ Voir l'introduction de Bruno Villalba et Edwin Zaccà, « Inégalités écologiques, inégalités sociales : interfaces, interactions, discontinuités ? », au Dossier 9 de *Développement durable et territoire*, 2007 : <http://developpementdurable.revues.org/document3502.html>. Les articles de ce dossier abordent le thème des inégalités écologiques de façons diverses.

l'adaptation.² Une approche écologique cherche à comprendre comment les entités (organismes vivants, éléments naturels, institutions humaines,...) d'un système donné agissent les unes sur les autres et s'adaptent à des changements.

Les inégalités sont des différenciations des entités et de leurs relations ; elles résultent de processus de distribution et de sélection différenciés. Les inégalités sont généralement envisagées sous un ou plusieurs critères, souvent sociodémographiques (revenus, instruction, sexe, emploi, âge, origine, lieu d'habitation, ...).³ Dans cette perspective, la question est de savoir comment quantifier les inégalités. Or, les inégalités ne se résument pas à des statistiques, car des éléments plus qualitatifs — l'environnement ou la santé par exemple - jouent également et peuvent même être plus importants que les inégalités sociales.⁴

Le but de cet article est donc d'explorer les relations inégales que les ménages entretiennent avec l'environnement, en se limitant au territoire de la Belgique. Pour cerner les inégalités écologiques, deux approches sont possibles. Soit on cherche à faire entrer l'environnement dans les inégalités, et donc on part des personnes. Cela revient à quantifier ce terme plurivoque d'« environnement », à estimer des différentiels en termes de pressions générées et de dégradations subies. Les graphiques et les corrélations statistiques sont de tels outils. Ou bien la recherche d'inégalités écologiques opère par le mouvement inverse : on fait entrer les inégalités dans l'environnement et on part des territoires. Les cartes sont alors d'excellents outils pour confronter les indicateurs et montrer les contrastes spatiaux. Les cartes ont en outre l'intérêt de rappeler la dimension irréductiblement territoriale de l'environnement. Finalement, une approche territoriale permet aussi de croiser des informations non liées par ailleurs dans les statistiques disponibles. Par conséquent, nous utiliserons les deux approches en fonction des données disponibles.

Cet article explore la rencontre des inégalités (prises dans leur sens socioéconomique) et de l'environnement afin de saisir certains aspects de cette écologie entre l'environnement et les habitants d'un territoire donné. L'écologie que nous cherchons à décrire est donc composée des

² Cf. Gérard Bellan, Denise Bellan-Santini et Jean-Claude Dauvin, « À propos de quelques utilisations des termes « Inégalités écologiques » : simples impropriétés de langage ou accaparement abusif ? », in *Développement durable et territoire, Dossier 9*, op. cit.

³ Voir comment Alain Bihr et Roland Pfefferkorn traitent systématiquement ce thème : *Déchiffrer les inégalités*, Paris, Editions Syros/La Découverte, 1999. Le site de l'Observatoire des inégalités explore aussi systématiquement les variables sociodémographiques : <http://www.inegalites.fr>.

⁴ Jacques Theys, « Pourquoi les préoccupations sociales et environnementales s'ignorent-elles mutuellement ? », in *Environnement et inégalités sociales*, P. Cornut, T. Bauler & E. Zaccai (eds.), Editions de l'Université de Bruxelles, 2007.

ménages, des ressources (renouvelables ou non) qu'ils utilisent, et des pollutions qu'ils subissent. Notons que l'environnement est ici extrêmement réduit : on ne parle pas d'écosystème, et on n'aborde quasiment pas la dimension globale comme celle relative, par exemple, aux changements climatiques. De même, les inégalités socioéconomiques sont ici réduites aux différences de revenu et de diplôme.

L'intérêt de notre démarche n'est pas de montrer des causalités précises, mais d'explorer les possibilités existantes pour exposer la photographie partielle d'un paysage constitué d'habitants et de certaines de leurs relations (à l'environnement local, à l'environnement global, aux pollutions, aux autres, ...). Les sections suivantes présentent les variables que nous avons retenues (mentionnées **en gras**) ainsi que les pistes que nous avons dû écarter. Beaucoup de nos commentaires proviennent de l'interprétation de cartes, réalisées pour chaque variable, mais que nous ne pouvons montrer par manque de place.

2. Méthodologie et sources de données

Pour réaliser cette contribution, nous avons essayé d'explorer systématiquement les données disponibles pour l'ensemble du territoire belge, en cherchant à traiter d'une part un maximum d'impacts sur l'environnement (impacts subis) et d'autre part différents secteurs de la consommation (impacts générés). Nous savions que nous ne pourrions pas étudier tous les impacts subis et générés par les ménages belges, mais la nécessité d'avoir des données *quantitatives, disponibles, et homogènes* sur l'ensemble des trois Régions de la Belgique⁵, nous a heureusement limité.

Au niveau fédéral, il existe principalement trois types de sources qui concernent notre sujet : l'*Enquête socioéconomique 2001*⁶ (parfois appelée « recensement » car elle est obligatoire), l'*Enquête sur le budget des ménages*⁷ (EBM) qui demande à plus de 3700 ménages par an de noter leurs moindres dépenses pendant un mois, et qui contribue, notamment, à la détermination de l'indice des prix à la consommation, et l'*Enquête de santé par interview* (2004)⁸ qui étudie la santé de la population en

⁵ En Belgique, les Régions (Flandre, Wallonie, Bruxelles) ont l'environnement pour compétence, et les modes de collecte et de présentation des données diffèrent d'une Région à l'autre.

⁶ <http://statbel.fgov.be/census/>

⁷ <http://statbel.fgov.be/surveys/hbs.asp>

⁸ <http://www.iph.fgov.be/epidemiology/hisia/index.htm>.

Belgique et qui a été menée auprès de 10.000 individus. Nous avons également utilisé les statistiques *fiscales* pour les revenus.

Nous avons principalement envisagé les inégalités en fonction du revenu car l'accès à la consommation et la capacité à échapper à certaines pollutions dépend fortement du revenu.⁹

L'*Enquête 2001* permet de dresser des cartes très précises. Nous avons pris l'échelle de la commune, car avec ses 589 communes, la Belgique offre de beaux contrastes. Bien entendu, la commune est déjà une moyenne par rapport aux situations des ménages. Mais ce niveau décrit des relations qui s'inscrivent dans l'espace et le temps. « Même si dans un territoire donné les inégalités sociales sont bien plus importantes que les inégalités spatiales, l'étude des inégalités territoriales, géographiques, est pertinente parce que les espaces concrets sont les lieux dans lesquels se cristallisent et se révèlent les enjeux sociaux et les stratégies des acteurs. »¹⁰

L'*Enquête de santé* aborde principalement l'appréciation que les personnes ont de leur propre état de santé, l'utilisation qu'ils font des services de santé tant curatifs que préventifs, et leur style de vie (activités physiques, habitudes nutritionnelles, consommation de tabac et d'alcool). En matière d'environnement, l'enquête évalue une série de nuisances subies, d'une part dans le quartier, et d'autre part dans le logement (accumulation d'immondices, nuisances sonores, olfactives, lumineuses, vibrations, etc.). Les résultats de l'enquête révèlent que les problèmes de nuisances environnementales dépendent principalement du lieu de résidence (urbain/rural) et moins du niveau d'instruction ou du revenu.¹¹ Malheureusement, les données récoltées par cette enquête ne peuvent être spatialisées au niveau souhaité, car les résultats ne sont pas désagrégés au niveau des communes.

Il nous semble important de mentionner les limites de notre exercice en indiquant différentes variables que nous aurions aimé inclure dans notre recherche, mais pour lesquelles il manque des informations : poids des déchets par commune, nombre de décharges et de sites désaffectés, mesures de nuisances sonores, capacité à s'adapter à l'environnement ou à réagir face à une dégradation. Ces lacunes sont en partie liées à la régionalisation des matières environnementales.

⁹ Grégoire Wallenborn & Joël Dozzi, « Du point de vue environnemental, ne vaut-il pas mieux être pauvre et mal informé que riche et conscientisé ? », in *Environnement et inégalités sociales*, op. cit, pp. 47-59.

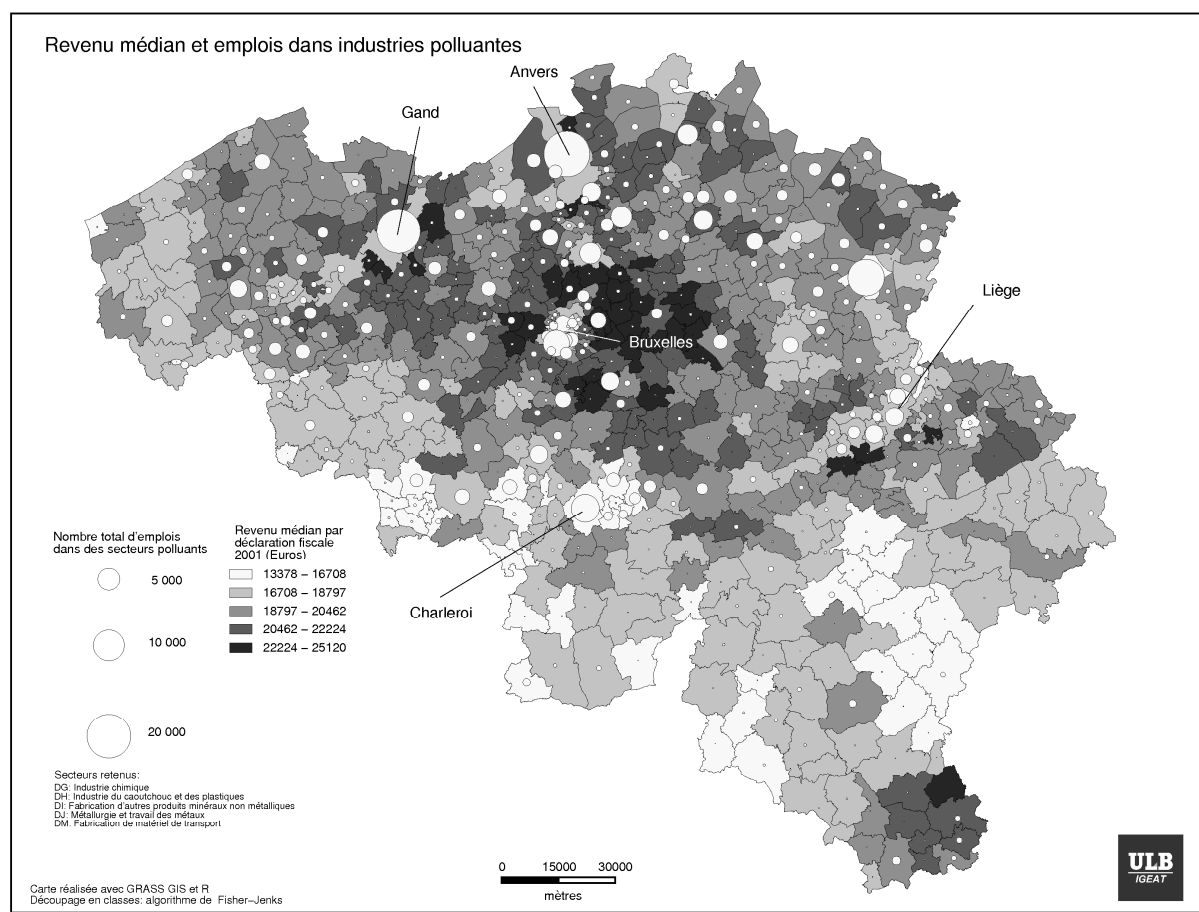
¹⁰ Christian Vandermotten, « Territoires et inégalités », in *Environnement et inégalités sociales*, op. cit, p. 156.

¹¹ Voir le chapitre « santé et environnement » dans la synthèse de l'étude 2004 : <http://www.iph.fgov.be/epidemiо/hisia/index.htm>.

3. Présentation succincte de la Belgique

Petit territoire de 30.000 km², la Belgique offre des régions contrastées, entre vieilles friches industrielles (principalement en Wallonie, dans le sillon Sambre-et-Meuse) et industries performantes entre Anvers (avec son port) et Bruxelles, Gand et Liège.

Fig. 1. Revenus médians par commune et axes industriels



La figure 1 présente les **revenus médians par commune** et l'emploi dans quelques secteurs industriels représentatifs à la fois de vieilles industries lourdes (métallurgie) et d'industries plus performantes ; toutes étant des sources potentielles d'émissions polluantes.¹² On observe que les métropoles sont plus riches, avec un contraste entre les centres urbains, relativement pauvres, et les banlieues, relativement riches. Ce phénomène particulièrement visible dans le territoire métropolitain de Bruxelles, et dans une moindre mesure de Gand, Liège, et Anvers, car ces

¹² Les secteurs NACE retenus sont DG (Industrie chimique), DH (Industrie du caoutchouc et des plastiques), DI (Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques), DJ (Métallurgie et travail des métaux), DM (Fabrication de matériel de transport)

communes sont plus grandes. Ne perdons pas de vue non plus les effets transfrontaliers du Luxembourg et d'Aix-la-Chapelle. Notons également que les régions industrielles sont plus pauvres que la moyenne, ainsi que certaines zones rurales. Il existe également un contraste entre le nord (la Flandre, plus riche) et le sud (la Wallonie, plus pauvre). L'emploi industriel se trouve le long de quelques axes principaux : Anvers-Bruxelles-Charleroi, Anvers-Gand-Lille, Anvers-Liège et Liège-Charleroi.

Notons que la **part des personnes avec un diplôme de l'enseignement supérieur** est bien corrélée avec le revenu, mais avec des contrastes moins prononcés. Ainsi on trouve dans les centres urbains une plus grande proportion de diplômés avec des revenus relativement bas (probablement des jeunes), et les diplômés du supérieur sont mieux répartis sur l'ensemble du territoire. Il est intéressant d'analyser les deux variables de revenu et d'instruction car elles indiquent la capacité des ménages à accéder à diverses ressources (dont l'information) et à s'adapter à des dégradations de l'environnement (en déménageant par exemple).

4. Impacts subis

Comment étudier l'exposition à certaines nuisances et pollutions (pollution de l'air, bruit, voisinage de certains sites, ...) ? L'étude des impacts subis par les ménages est compliquée parce qu'elle relève à la fois de la toxicologie (c'est-à-dire l'impact sur la santé physique) et des qualités (perçues ou non) du lieu de vie. Nous avons choisi deux approches: la première concerne la localisation géographiques des sites d'émission de pollution et la deuxième se base sur la perception subjective de l'environnement telle qu'enregistrée par l'enquête socioéconomique 2001.

Les sites de pollution

Pour identifier certaines sources fixes d'émissions polluantes nous nous sommes référés à la liste des polluants repris dans le système EPER¹³ qui recouvre une cinquantaine de composés émis par les sites industriels en Europe. Notre choix s'est porté sur les principaux polluants qui constituent une menace avérée pour la santé des habitants.¹⁴ Etant donné que leur nombre est relativement élevé et que leurs effets peuvent être très variables (effets directs ou indirects,

¹³ <http://www.eper.cec.eu.int/eper/>

¹⁴ voir entre autres WHO (2004), Health aspects of air pollution. Results from the WHO project. "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe", téléchargé de <http://ec.europa.eu/environment/air/cafe/activities/pdf/e83080.pdf>.

interactions chimiques ou physiques entre substances, influence des conditions météorologiques, etc.), nous avons ciblé les composés selon les principaux critères suivants : degré relatif de dangerosité, effets connus, niveau de priorité porté par les institutions compétentes et le monde scientifique. Nous avons également décidé de nous limiter aux polluants émis dans l'air puisqu'elles permettent une certaine approximation des impacts à petite échelle, les pollutions dans le sol et dans l'eau ayant des effets trop locaux. Il est évident qu'une étude approfondie de la spatialisation des pollutions nécessiterait un travail à plus grande échelle, tenant compte des conditions météorologiques et des géographies locales.¹⁵ Notre approche doit donc être vue comme une démonstration sommaire des possibilités sur base des données EPER.

Dans un premier temps, nous avons dégagé les substances suivantes :

- les précurseurs d'ozone troposphérique comme les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) ; les effets de l'ozone sur les fonctions respiratoires étant connues et justifiant entre autres es mesures d'urgence durant les pics de pollutions ;
- les matières particulaires de type PM₁₀, qui constituent également une menace pour la santé au niveau du système respiratoire (asthmes, capacités respiratoires, maladies pulmonaires, etc.)¹⁶ ;
- les aromatiques du type benzène, dont les effets sur le système nerveux, mais aussi les effets cancérigènes, sont prouvés ;
- les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), dont certains ont également des effets cancérigènes avérés (et d'autres pour lesquels des études sont en cours, ou alors ont une toxicité faible).

In fine, nous avons choisi de spatialiser les pollutions uniquement pour les NO_x et les PM₁₀. Le benzène n'a pas été retenu pour deux raisons. D'une part, les sources émettrices sont surtout les modes de transports routiers, ainsi que les stations essence ; des sources non reprises dans la base de données EPER. D'autre part, le benzène est une substance fortement volatile, donc peu

¹⁵ Tel que cela a été fait dans les modèles GAINS/RAINS (<http://www.iiasa.ac.at/rains/gains.html?sb=7>) et EMEP (http://projects.dnmi.no/~emep/index_model.html), mais à trop petite échelle pour notre propos ici.

¹⁶ Les PM_{2,5} et les PM₁ sont plus nocifs pour la santé que les PM₁₀, mais EPER ne les reprend pas.

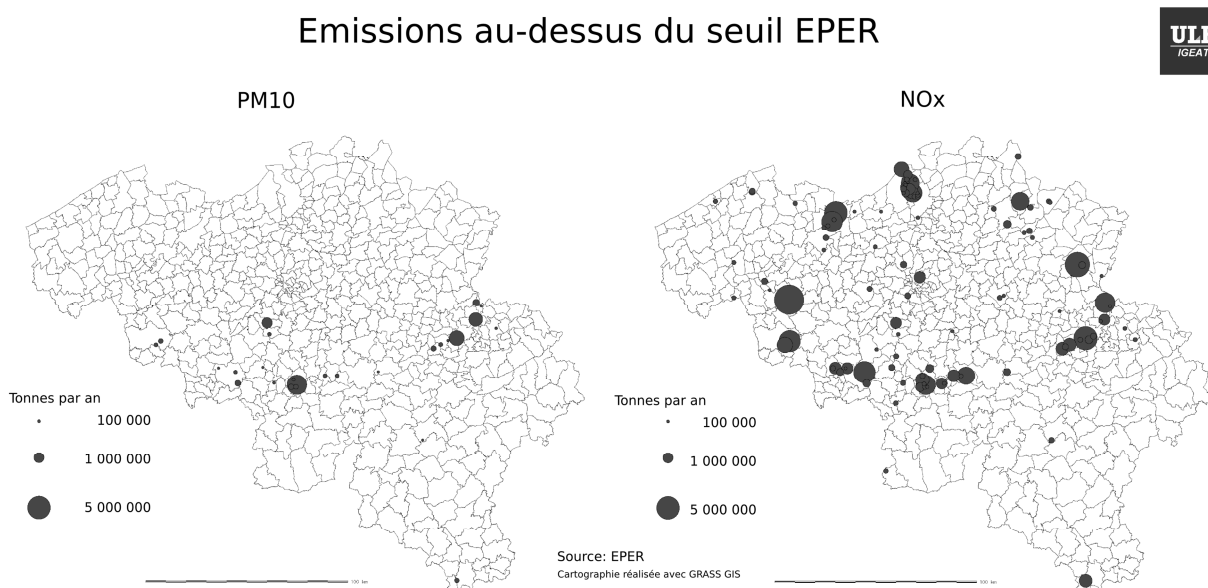
persistante dans l'air et rapidement biodégradable. Les HAP par contre sont davantage persistants dans la mesure où certains d'entre eux sont semi volatils, et peuvent se combiner aux matières particulaires (PM).¹⁷ Toutefois, d'après la base de données EPER, les sources industrielles émettrices de HAP dépassant le seuil d'obligation de déclaration sont très peu nombreuses en comparaison aux NOx ou aux PM10, ne méritant donc pas de porter une attention particulière à cette catégorie de substances. Notons aussi que nous n'avons pas retenu les COVNM car les zones géographiques d'émissions sont identiques aux NOx. La carte de ces derniers suffit donc à montrer les zones concernées par la contamination en précurseurs d'ozone troposphérique d'origine industrielle.

La figure 2, qui présente ces deux cartes, montre que ces émissions se superposent aux axes industriels indiqués à la figure 1. On observe que les ménages exposés à ces polluants vivent généralement dans des communes plus pauvres. Pour compléter les émissions industrielles, il faudrait ajouter celles dues au transport routier — grand contributeur aux émissions polluantes retenues ici. Malheureusement, nous ne disposons pas des données adéquates pour les désagréger au niveau communal. De même que toute la question de la pollution intérieure dans les habitations est exclue de notre démarche.

¹⁷ WHO. 2004. *Health aspects of air pollution – Results of the WHO project “systematic review of health aspects of air pollution in Europe”*. World Health Organization Regional Office for Europe. Denmark. 30pp.

Cellule État de l'Environnement Wallon. 2007. *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. MRW-DGRNE. Namur. 736pp.

Sites Internet : <http://www.sante.gouv.fr/> ; <http://www.who.int/en/>

Fig. 2. Emissions industrielles de certains polluants atmosphériques.

La perception subjective de l'environnement

L'enquête socioéconomique 2001 fournit les indicateurs de perception de l'environnement suivants :

- part des ménages estimant que la qualité de l'air est « peu agréable » (partpollutair).
- part des ménages estimant que la tranquillité est « peu agréable » (partpastranq).
- part des ménages estimant que la propreté est « peu agréable » (partpaspropre).

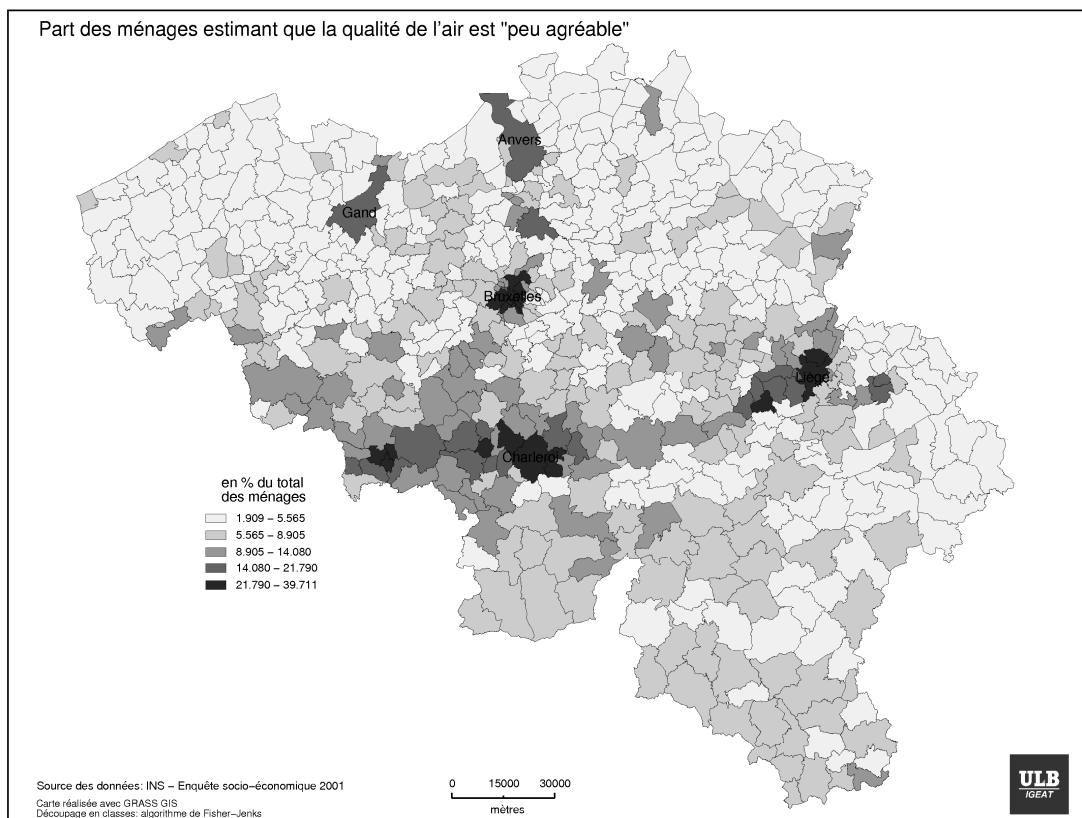
Sauf pour la propreté, la corrélation à l'échelle de la commune entre ces indicateurs et le revenu médian n'est pas très forte, mais toujours significative et négative. Le niveau d'éducation semble jouer moins, probablement à cause de la forte proportion de jeunes diplômés dans les centres urbains.

	Revenu médian		Part des diplômés du supérieur	
partpastranq	-0,126550762	**	0,014575815	
partpaspropre	-0,498222745	***	-0,14002472	***
partpollutair	-0,185757418	***	-0,07907699	

Les étoiles indiquent le niveau de significativité: ***=99.9%, **=99%, *=95%

La distribution spatiale de ces trois indicateurs est très semblable. On observe des pourcentages élevés de ces indicateurs dans les centres urbains ainsi que dans les zones industrielles (zones relativement pauvres). La qualité de l'air est l'indicateur le plus contrasté, tandis que celui de la tranquillité est le plus diffus. Quoique l'interprétation de ces données est simple, il est nécessaire de rappeler qu'il s'agit d'indicateurs subjectifs, et que leurs contrastes pourraient être plus grands si des données objectives étaient disponibles, car on peut supposer que les personnes aux ressources culturelles élevées se plaignent davantage des nuisances environnementales que celles qui ont moins accès aux informations ou comparaisons.

Fig. 3. Parts des ménages estimant que la qualité de l'air est « peu agréable »



La figure 3 expose la distribution des communes dans lesquelles les gens estiment que l'air est peu agréable. Il est intéressant de constater que l'on retrouve la structure des émissions indiquées aux cartes de la figure 2, auquel s'ajoute un effet urbain attendu. Cela montre que l'indicateur subjectif de perception de la qualité de l'air recoupe dans les grandes lignes de l'indicateur plus objectif des émissions industrielles. Cela s'explique en partie parce que les axes routiers principaux

— qui contribuent à la détérioration de la qualité de l'air — sont distribués le long des axes industriels.

5. Utilisation des ressources et impacts sur l'environnement générés par les ménages

Après s'être attachées à la prévention des sources industrielles de pollution, les politiques environnementales s'occupent désormais de plus en plus des ménages, notamment au travers des aspects de consommation. Les ménages sont vus comme des sources diffuses de pollution, mais aussi comme les destinataires de l'exploitation des ressources, renouvelables ou non. La consommation d'hydrocarbures fossiles est à la fois polluante et épuisante : elle entraîne des changements climatiques inquiétants et elle épuise une ressource précieuse. La biodiversité pâtit également de nos manières de nous alimenter et de nous déplacer. L'approche de l'*empreinte écologique* témoigne de cette critique croissante envers nos modes de consommation.¹⁸ Les inégalités dans l'accès aux ressources non renouvelables sont criantes au niveau de la planète. De ce point de vue global, les inégalités en Belgique sont évidemment relatives : par exemple, les émissions de dioxyde de carbone par habitant sont élevées, même si elles peuvent varier considérablement d'un individu à l'autre. Nous avons de nouveau choisi deux approches différentes. La première se base sur les données de dépenses des ménages et la seconde sur les réponses à l'enquête socioéconomique 2001.

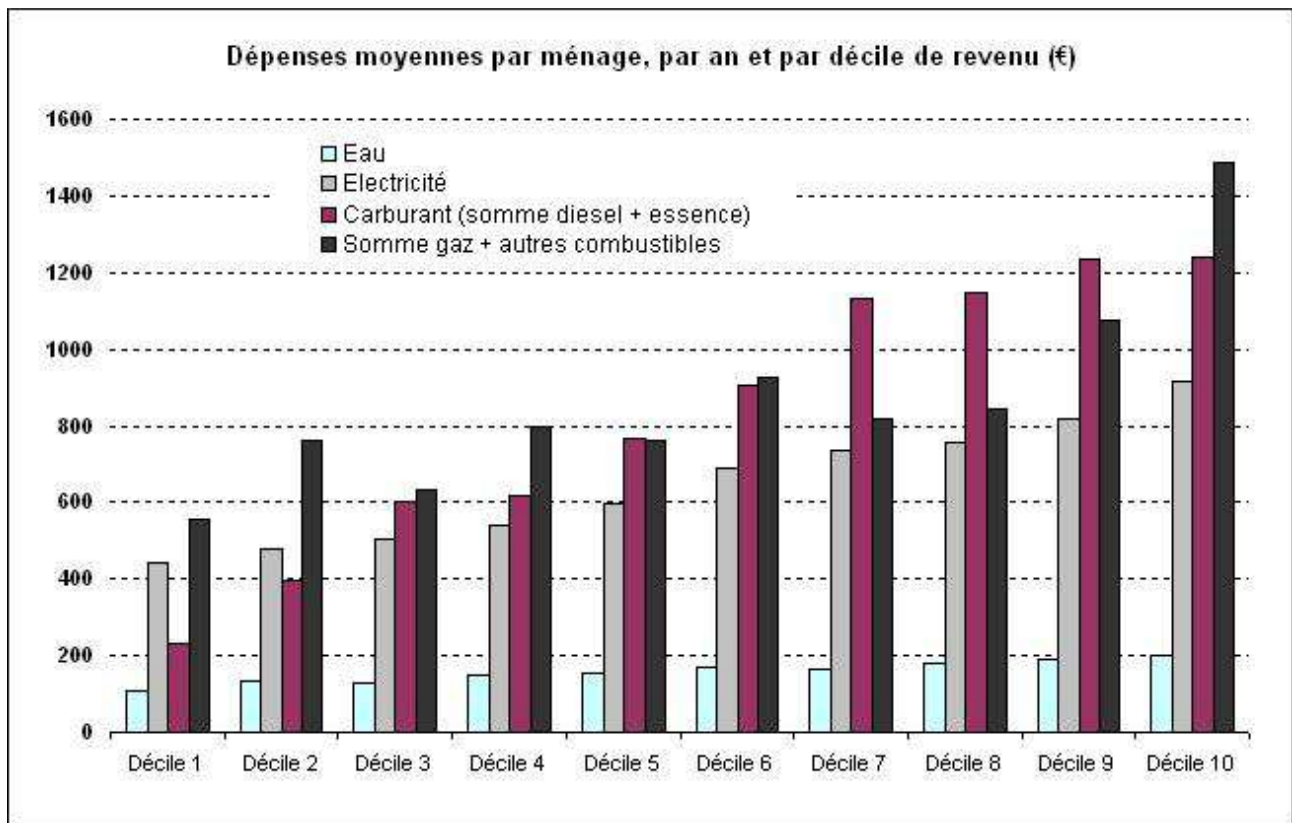
Approche par les dépenses

Dans la longue liste des achats des ménages disponible via l'Enquête sur le budget des ménages (EBM), il y a peu de postes qui peuvent s'interpréter facilement du point de vue de l'impact sur l'environnement : la consommation de diverses formes d'énergie (mazout, gaz, électricité, carburant), et la consommation d'eau de distribution. Une faible part de l'énergie provient actuellement de sources renouvelables. L'énergie est sans conteste le problème principal de nos modes de consommation contemporains. Quant à l'eau, quoique ressource renouvelable, son interprétation en termes de pression sur l'environnement est relativement simple. La figure 4 montre les dépenses pour diverses consommations (électricité, gaz et autres combustibles,

¹⁸ L'empreinte écologique a été popularisée par le WWF : voir « Rapport Planète vivante », 2004. Pour une analyse critique de cet indice, voir les discussions dans *Ecological Economics* 32 (2000).

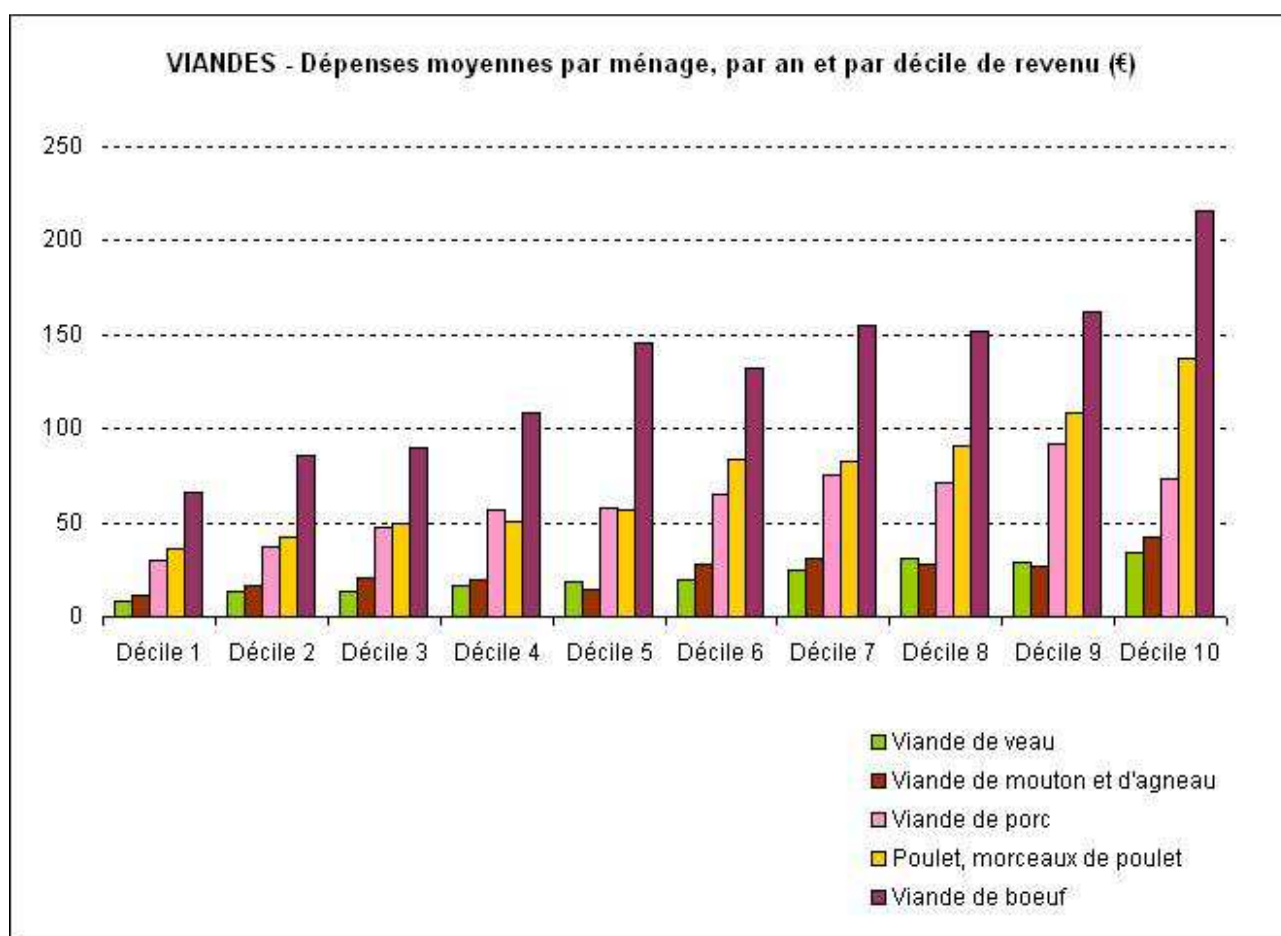
carburants pour voiture et deux roues, eau) en fonction des déciles de revenu. On observe une nette corrélation entre les dépenses et les revenus. Cette corrélation est particulièrement frappante dans les cas de l'électricité et des carburants.

Fig. 4. Consommations d'énergie et d'eau en fonction des déciles de revenu.



Pour d'autres éléments repris dans l'enquête, l'interprétation est moins évidente. Néanmoins, leur impact est non négligeable. Parmi les produits alimentaires, par exemple, la viande est celui qui a le plus d'impact sur l'environnement (en termes de surfaces agricoles nécessaires et d'émissions de gaz à effet de serre). En prenant en compte les transports qu'il nécessite (animaux, aliments, etc.) et les rejets de méthane des systèmes digestifs des animaux, le secteur de l'élevage représente à lui seul 18 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre. Sur la figure 5 nous avons représenté la consommation de différents types de viande, également par déciles de revenus. Ces données indiquent une nette corrélation entre les dépenses pour l'achat de viandes et les déciles de revenu.

Fig. 5. Consommation de viandes par déciles de revenu.



Dans la mesure où les types de viandes ont des impacts différenciés, on peut se risquer à une interprétation. Considérant l'impact sur l'environnement via les équivalents CO₂ (voir tableau ci-après), cette corrélation est amplifiée étant donné que la part du bœuf est croissante avec le revenu. Cependant, cette interprétation doit de nouveau être relativisée par le fait que nous ne connaissons que les dépenses et non les quantités achetées, ni la manière dont la viande a été produite.

Hormis les consommations d'énergie, d'eau et de viande, il est très difficile d'interpréter les dépenses des ménages en termes d'impacts environnementaux. Chaque produit est en effet le résultat d'une multiplicité de processus de production et de distribution, dans lesquels les emballages et le transport peuvent avoir un impact très important, mais pour lesquelles les informations manquent généralement — comme en témoignent les difficultés de réaliser des *analyses de cycle de vie* fiables.

1 kg de viande de :	kg équivalent CO ₂ ¹⁹
bœuf	15 à 32,3
mouton	10,1 à 17,4
porc	6,3
poulet	4,6 à 6,7

Approche par les données de l'enquête socioéconomique

L'Enquête socioéconomique 2001 ne fournit pas les consommations directes, mais une série de questions donne des pistes concernant les équipements liés à la consommation d'énergie domestique : présence de chauffage central (électrique ou non), isolation du toit et des tuyaux de chauffage, utilisation de sources alternatives (solaire ou autres). Pour ces questions, nous n'avons considéré que les propriétaires, c'est-à-dire les ménages susceptibles d'opérer des choix pour ces équipements, et parfois uniquement les propriétaires de maisons quand la question n'avait pas la même pertinence pour les appartements (ex: l'isolation du toit). Cette enquête répertorie également la possession d'un jardin privatif, c'est-à-dire l'usage du sol, ressource limitée, et dont les effets sur la biodiversité peuvent, dans certains cas être négatifs (en fonction des pratiques de plantation, d'entretien des pelouses, des arbres, du potager...).

Nous avons retenu les variables suivantes:

- **part des ménages propriétaires de leur logement utilisant de l'électricité pour se chauffer (partelec).** Etant donné le faible rendement de l'électricité, le chauffage exclusivement à l'électricité est particulièrement gaspilleur de ressources (même dans un pays fortement nucléarisé comme la Belgique). Ces ménages semblent vivre plutôt dans des maisons construites depuis 20 ou 30 ans.
- **part des ménages propriétaires de leur maison qui ont un chauffage central (partcc).** Outre l'indicateur d'un standard de vie confortable, le chauffage central signale également une consommation plus élevée d'énergie. L'installation de chauffage central semble obéir à une logique territoriale précise dans la mesure où elle a lieu aussi bien dans des zones de

¹⁹ Observatoire Bruxellois de la Consommation Durable, 2007, d'après des chiffres du *Department for Environment, Food and Rural Affairs*, UK.

constructions récentes que dans des régions bien délimitées où le bâti est plus ancien (Bruxelles par exemple).

- **part des ménages propriétaires de leur maison dont le toit est isolé (parisoltoit).** L'isolation du toit est la première recommandation donnée à un ménage qui veut faire des économies d'énergie. Les ménages qui ont isolé le toit de leur habitation ont tendance à être urbains et diplômés de l'enseignement supérieur.
- **part des ménages propriétaires de leur logement dont les tuyaux de chauffage (en dehors des pièces d'habitation) sont isolés (partisoltuy).** Cet indicateur témoigne d'un réel souci pour les économies d'énergie. Quoique fortement corrélé avec le chauffage central, il obéit à une logique territoriale nette : il est beaucoup plus présent dans les régions frontalières avec les Pays-Bas, l'Allemagne et le Luxembourg. Cela soulève la question d'une sorte de « contamination culturelle » étant donné que ces pays ont une culture de l'énergie plus développée qu'en Belgique.
- **part des ménages propriétaires utilisant de l'énergie solaire (partsolaire).** La part des ménages possédant des panneaux solaires était très réduite en 2001 (maximum 2,5 % dans une commune). Les logiques semblent être plutôt d'ordre communal, ou infra-communal, à l'exception de la région germanophone qui compte une proportion relativement élevée de panneaux solaires.
- **part des ménages propriétaires qui utilisent une autre énergie alternative (essentiellement biomasse) (partenaltautres).** Outre la région germanophone, c'est principalement la région des Ardennes (rurale et boisée) qui utilise le plus la biomasse.
- **part des ménages qui disposent d'un jardin privatif (parjardintot).** La possession d'un jardin est surtout le fait des ménages qui ont un revenu relativement élevé et qui se chauffent à l'électricité. La carte de distribution des jardins montre bien que la dimension « revenu » domine la distinction urbain/rural.

Une analyse des corrélations à l'échelle communale entre ces différentes variables et le revenu et le niveau de diplôme montre des corrélations positives significatives entre le revenu et la plupart des variables. Généralement, les corrélations avec le niveau d'éducation sont moins bonnes, sauf

pour la part des propriétaires ayant isolé leur toit et ceux ayant du chauffage central. Mais il est difficile de savoir s'il s'agit du signe d'un niveau d'instruction plus élevé ou de situations urbaines (où les diplômés du supérieur sont plus nombreux).

	Revenu médian		Part des diplômés du supérieur	
partisoltuy	0,368258226	***	0,213194679	***
partisoltoit	0,520006063	***	0,570999706	***
partelec	0,43387163	***	0,124846546	**
partcc	0,427054775	***	0,508965505	***
partsolaire	0,175766092	***	0,052290427	
partenaltautres	-0,077800846		0,076958481	
partjardintot	0,327350639	***	-0,041522083	

Les étoiles montrent le niveau de significativité: ***=99.9%, **=99%, *=95%

6. Tentative de synthèse

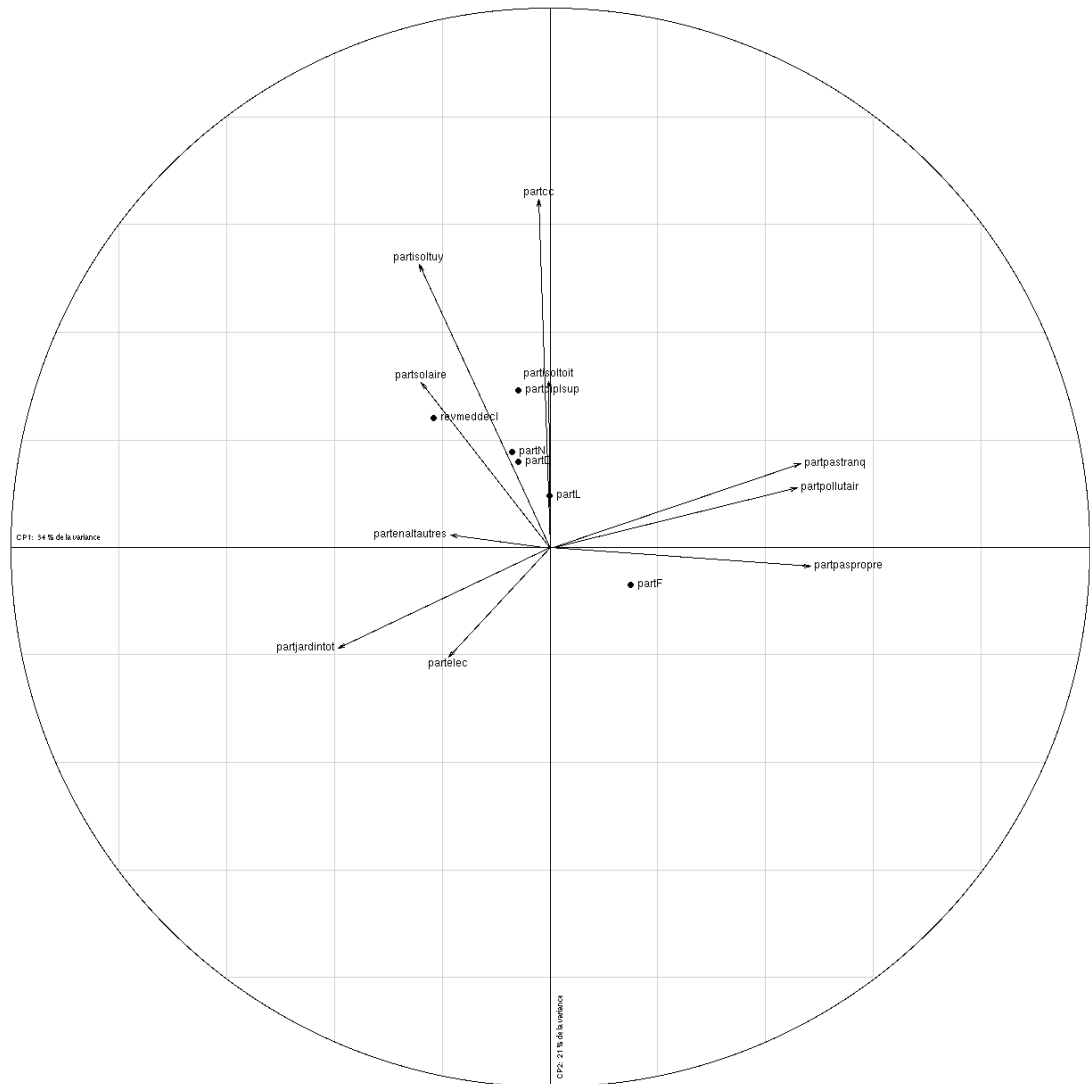
Avec l'ensemble des variables retenues de l'Enquête socioéconomique 2001 (y compris celles concernant la perception de l'environnement) nous avons réalisé une analyse par composante principale (ACP) afin de dégager les tendances lourdes.²⁰ L'ACP est une méthode qui permet d'organiser les variables afin de faire apparaître les associations de variables qui contiennent le plus d'information. Ainsi, la composante principale est l'axe qui reprend le plus d'informations sur les variables, c'est-à-dire la plus grande variance. Le second axe, perpendiculaire au premier, contient le plus d'information qui reste. Et ainsi de suite.²¹ Dans notre cas, les 2 premières composantes représentent plus de la moitié de la variance (voir aussi le tableau 9).

La figure 6 présente les deux axes principaux de notre ACP. Pour faciliter l'interprétation, nous avons projeté sur le graphique le revenu médian (revmeddecl) et le niveau d'éducation (partdiplsup), ainsi que la part des ressortissants des pays limitrophes (partD, partF, partN, partL).

²⁰ Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel libre R, la cartographie avec le SIG libre GRASS.

²¹ Zuur, A.F., Ieno, E.N. and Smith, G.M. (2007). *Analysing Ecological Data*. Springer. [ACP : chap. 12]

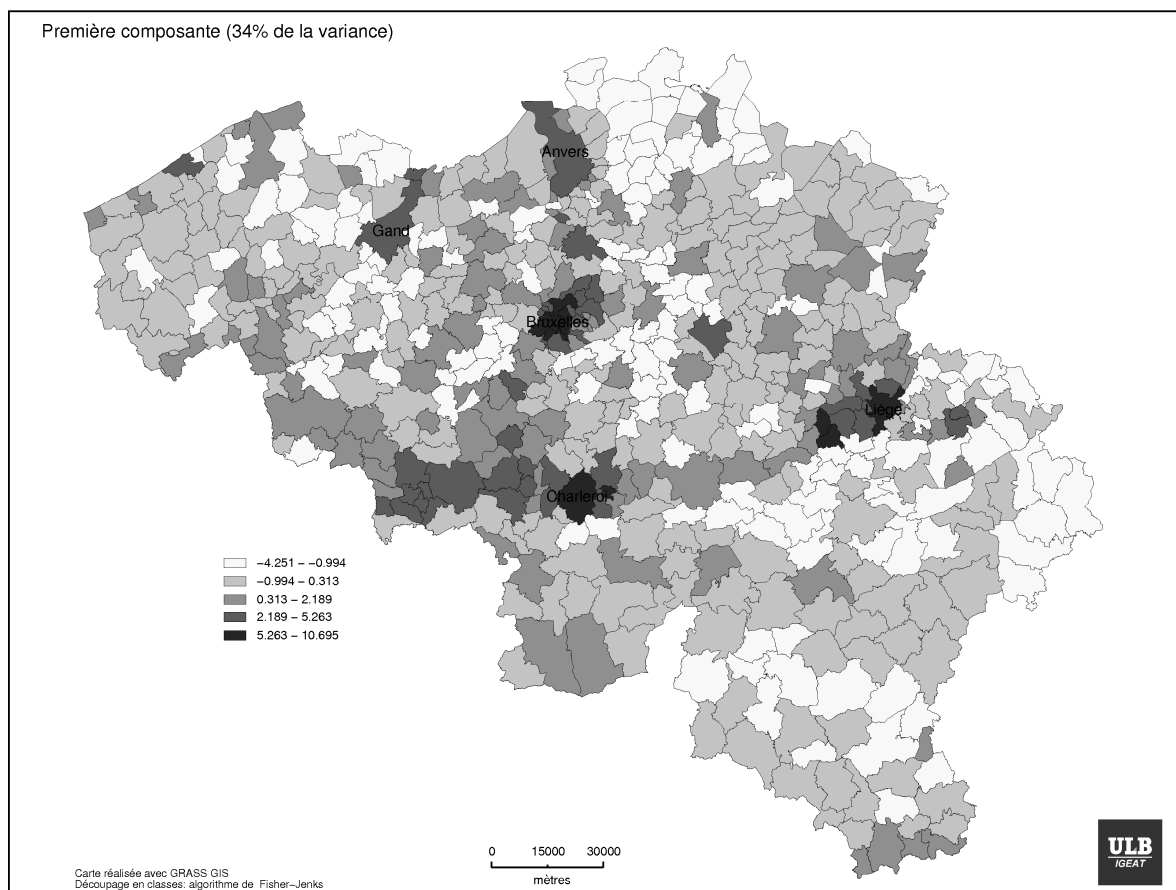
Fig. 6. Les deux axes principaux de l'analyse par composante



La composante principale (CP1) oppose les ménages qui ont une mauvaise perception de leur environnement (propreté, air, tranquillité) à toutes les autres variables, mais avant tout à la possession de jardin. La figure 7 montre la spatialisation de cette composante. On observe que cette composante oppose principalement les ménages qui habitent dans des communes plus pauvres ou urbaines aux communes rurales ou plus riches. Ce résultat indique donc que les inégalités écologiques, telles que nous avons pu les appréhender au travers des variables retenues,

vont en deux sens : les plus pauvres vivent dans un environnement qu'ils perçoivent comme de piètre qualité ; les plus riches jouissent d'espaces verts privatifs.

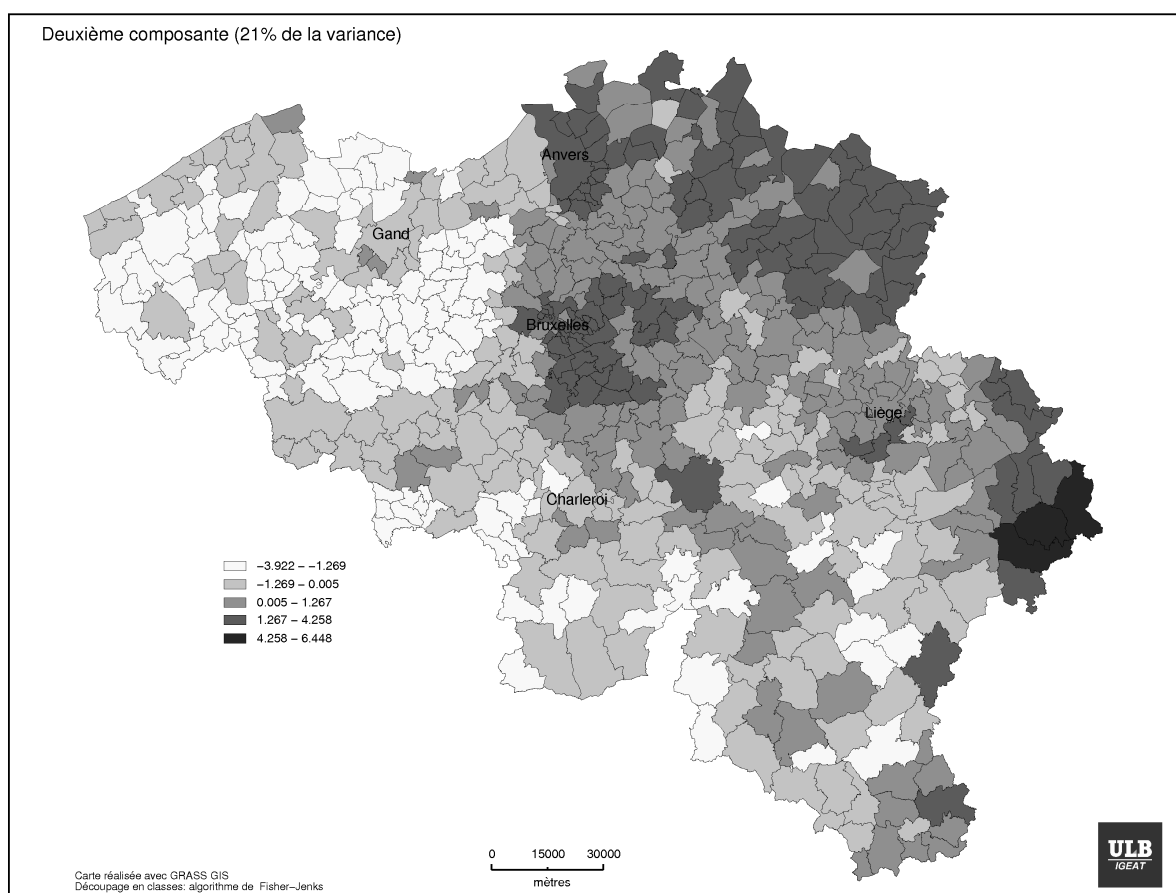
Fig. 7. Représentation spatiale de la composante principale



La deuxième composante (CP2) est plus intéressante car elle oppose d'un côté les personnes qui ont un chauffage central, qui ont isolé les tuyaux de chauffage et qui ont installé des panneaux solaires (ménages à diplômes supérieurs et à revenus relativement élevés), aux ménages qui se chauffent à l'électricité et qui ont un jardin. La figure 8 indique la logique territoriale de cette composante. Trois types de zones ressortent du côté positif de l'axe : les zones urbaines, les zones relativement riches et celles limitrophes de l'Allemagne et des Pays-Bas. Les zones avec des scores négatifs sont probablement celles où les ménages ont construit des maisons à quatre façades depuis les années 1970. En effet, ces communes sont caractérisées par un bâti récent, avec une plus grande proportion de toits isolés. Cette deuxième composante est intéressante pour nuancer le tableau de la première opposition entre riches et pauvres, puisqu'elle révèle qu'une partie des ménages qui ont un capital financier et un capital culturel relativement élevés font des gestes

(isolations des tuyaux) et des investissements (panneaux solaires) qui tendent à limiter leur impact sur l'environnement. En outre, la distribution spatiale et la projection des variables concernant les nationalités montre qu'il y a une corrélation positive entre les communes dont les ménages isolent les tuyaux de chauffage et la présence de Néerlandais, de Luxembourgeois, d'Allemands, et une corrélation négative avec la présence de Français.

Figure 8. Représentation spatiale de la deuxième composante



La troisième composante, qui ne représente que 15 % de la variance est moins pertinente : elle représente essentiellement l'opposition entre, d'une part, ceux qui utilisent la biomasse pour se chauffer et qui ont isolé leurs tuyaux de chauffage et, d'autre part, ceux qui se chauffent à l'électricité et qui ont isolé le toit de leur maison. La dimension territoriale s'explique principalement par l'accès au bois de chauffage.

Figure 9. Tableau des variances des 3 composantes

	CP1	CP2	CP3
Part de la variance de chaque composante	34%	21%	15%
Saturations des variables:			
partisoltuy	-0,243	0,526	-0,136
partisoltoit	-0,003	0,310	0,633
partsolaire	-0,238	0,307	0,010
partelec	-0,188	-0,205	0,645
partcc	-0,020	0,646	-0,019
partpastranq	0,465	0,157	0,121
partpaspropre	0,484	-0,036	-0,123
partpollutair	0,458	0,111	0,123
partjardintot	-0,393	-0,188	0,062
partenaltautres	-0,185	0,024	-0,341

en gras: significatif à 95%

7. Conclusions

Les différentes analyses ci-dessus ne sont qu'une approximation rudimentaire des réalités vécues par les ménages. Nous avons voulu réaliser un exercice d'exploration pour montrer les possibilités d'analyse quantitative et pour lancer des pistes de réflexion et d'études plus approfondies sur base des possibles liens démontrés. Néanmoins, nous pouvons déjà tirer certaines conclusions.

Dans la littérature existante, les inégalités écologiques ont principalement été étudiées sous l'aspect des pollutions subies par certaines catégories de la population d'un territoire donné. L'originalité de notre approche réside dans la tentative d'étendre l'analyse des inégalités écologiques aux impacts générés par les ménages. Pour rapprocher les impacts subis des impacts générés nous

avons dû multiplier les hypothèses — ce qui est normal pour un article dont le but avoué est une exploration méthodologique — afin de pallier les lacunes des données.

En résumé, nous pouvons identifier deux classes de ménages : ceux qui vivent dans un environnement relativement dégradé et ceux qui utilisent une proportion plus grande de ressources environnementales (renouvelables ou non, surfaces au sol,...) et qui polluent relativement plus. La question de l'*environmental justice* nous montrait déjà que ces deux classes de ménages ne sont pas identiques.²² L'opposition entre ménages riches et ménages pauvres domine les résultats, tant statistiques (consommations par déciles de revenu) que territoriaux (nouvelles résidences versus anciens centres urbains ou industriels). Nous pouvons conclure que ce sont *en moyenne* les classes supérieures qui produisent le plus de nuisances mais en subissent le moins. Notons d'ailleurs que cela a des implications au niveau des politiques de sensibilisation menées, puisque ce sont en moyenne les plus riches qui sont aussi les plus sensibilisés aux problèmes environnementaux.²³ L'approche territoriale permet cependant de nuancer ce constat : la conjonction d'un capital financier et d'un capital culturel permet à certains ménages de réduire leurs impacts sur l'environnement. Nous avons également observé un phénomène de « contamination culturelle » depuis les frontières avec les pays du nord, dont les mécanismes restent à expliquer.

Sur le plan méthodologique, il est évident qu'il reste beaucoup à faire pour récolter des données permettant de construire des indicateurs fiables à propos des impacts générés et subis par les ménages. Les données *directes* sont rares et partielles. Les consommations d'énergie et d'eau s'analysent statistiquement mais pas territorialement. En raison de la protection de la vie privée et du caractère stratégique des données pour des entreprises privatisées, il est en effet impossible aujourd'hui en Belgique d'obtenir via les distributeurs des données individuelles sur ces consommations. Les études épidémiologiques sont très rares. La seule source générale sur les émissions de polluants (EPER) résulte d'une obligation européenne. Mais cette base de données est partielle en regard des inégalités écologiques car toutes les substances n'y sont pas mentionnées et elle ne comprend que les sources d'émissions dépassant un certain seuil.

Les données indirectes sont un peu plus nombreuses, mais nettement plus difficiles à interpréter. Les enquêtes de perception de l'environnement semblent être de bons indicateurs, mais

²² Voir, par exemple, P.S. Wenz, *Environmental Justice*. Albany: State University of New York Press, 1988.

²³ Nous développons cette idée dans : Grégoire Wallenborn & Joël Dozzi, « Du point de vue environnemental, ne vaut-il pas mieux être pauvre et mal informé que riche et conscientisé ? », op. cit.

ceux-ci devraient être corrigés par des facteurs culturels en les croisant avec des données mesurées — songeons aux cartes des nuisances sonores qui sont en cours de réalisation. Les équipements de chauffage et l'enveloppe des habitations sont des indicateurs plus difficiles à interpréter car deux facteurs vont en sens opposé : le revenu donne accès à de plus grands volumes à chauffer, mais combiné à l'instruction, le revenu permet de mieux isoler son habitation, voire de placer des panneaux solaires. L'indicateur de possession de jardin est encore plus compliqué à évaluer puisque les pratiques de plantation et d'entretien sont pratiquement inconnues (même si on peut supposer qu'elles ne favorisent en général pas la biodiversité). De même la consommation de viande est indiquée en termes monétaires, ce qui n'a qu'un lien indirect avec l'utilisation de ressources et l'impact sur l'environnement.

Nous avons essayé de pallier ces difficultés d'interprétation en croisant les méthodes statistiques avec les représentations spatiales. Et nous avons en effet constaté que les inégalités écologiques ont des dimensions territoriales fortes, bien que les mécanismes qui génèrent ces inégalités soient compliqués, et pas toujours facilement analysables avec les données existantes. Par ailleurs, les données de consommation ne sont aujourd'hui pas spatialisables. Et si elles l'étaient, d'autres aspects devraient être pris en compte, comme les différents « styles de vie », dimensions également difficiles à mesurer. C'est pourquoi il nous semble qu'il est aujourd'hui plus facile de voir les inégalités environnementales sous les aspects d'impacts subis (les riches évitent les sites pollués, peu agréables et délétères) que les inégalités d'accès aux ressources (les aspects de consommation sont très variés et dépendent beaucoup des infrastructures, mais aussi du revenu, de la culture, de l'effet rebond, ...).

Le domaine des études sur les inégalités écologiques en est à ses balbutiements. Outre la collecte de données fiables et comparables, de nombreuses pistes restent à explorer.

Repères bibliographiques

Bases de données

<http://www.inegalites.fr>

<http://statbel.fgov.be/census/>

<http://statbel.fgov.be/surveys/hbs.asp>

<http://www.iph.fgov.be/epidemiolo/hisia/index.htm>.

<http://www.eper.cec.eu.int/eper/>

CELLULE ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON. 2007. *Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007*. MRW-DGRNE. Namur. 736 p.

Articles et ouvrages scientifiques

BIHR A. & PFEFFERKORN R. (1999), *Déchiffrer les inégalités*, Paris, Éditions Syros/La Découverte.

BIRCH R., BARRETT J, WIEDMANN T. (2004) *Exploring the consumption and related environmental impacts of socio-economic groups within the UK*, Stockholm Environment Institute – York, University of York. <http://www.env.leeds.ac.uk/~hubacek/leeds04/5.4%20leeds%20conference%20paper.pdf>

BRAINARD J.S., JONES A.P., BATEMAN I.J., LOVETT A.A., FALLON P.J. (2002), “Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham UK”, *Environment and Planning A*, 4, p. 695-716.

CORNUT P., BAULER T. & ZACCAÏ E. (eds.) (2007), *Environnement et inégalités sociales*, Editions de l'Université de Bruxelles.

DIAMANTOPOULOS A., SCHLEGELMILCH B., SINKOVICS R., BOHLEN. (2003), “Can socio-demographics still play a role in profiling green consumers ? A review of the evidence and an empirical investigation”, *Journal of Business research*, 56, p. 465-480.

DOBSON A. (1998), *Justice and the Environment: Conceptions of Environmental Sustainability and Theories of Distributive Justice*, New York : Oxford University Press.

GATERSLEBEN B., STEG L., VLEK C. (2002), “Measurement and determinants of environmentally significant consumer behaviour”, *Environment and behavior*, vol 34, 3, p. 335-362.

LEE C. (2002). “Environmental Justice: building a unified vision of health and the environment”, *Environmental Health Perspectives*, Supplements, 110, p. 141-144.

LEHOTONEN M. (2004), “The environmental–social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions”, *Ecological Economics*, 49, p. 199-214.

LUCAS K., WALKER G., EAMES M., FAY H., POUSTIE M. (2004), *Environment and Social justice: rapid research and evidence review*, final report, SDRN, DEFRA

MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (MEDD) (2005), *Les Inégalités écologiques en milieu urbain*, Paris

OBSERVATOIRE BRUXELLOIS DE LA CONSOMMATION DURABLE (2007), *Consommation de viande : un lourd tribut environnemental*, CRIOC-IBGE.

OECD (2004). *Working party on national environmental policy – Environment and Distributional issues: Analysis, Evidence and Policy*.

- POORTINGA W., STEG L. and VLEK Ch. (2004), “Values, Environmental Concern, and Environmental Behavior: A Study into Household Energy Use”, *Environment and Behavior*, 36, p. 70-93.
- VILLALBA B. & ZACCAÏ E. (2007), « Inégalités écologiques, inégalités sociales : interfaces, interactions, discontinuités ? », *Développement durable et territoire*, dossier 9, <http://developpementdurable.revues.org/>
- WALLENBORN G., ROUSSEAU C., THOLLIER K. (2006), *Détermination de profils des ménages pour une gestion plus efficace de la demande d'énergie*, Rapport final, Politique Scientifique Fédérale Belge, PADDII.
- WENZ P. S. (1988), *Environmental Justice*, Albany: State University of New York Press.
- WHO (2004), Health aspects of air pollution – Results of the WHO project “systematic review of health aspects of air pollution in Europe”. World Health Organization Regional Office for Europe. Denmark. 30pp., 2004.
- ZUUR A.F., IENO E.N. & SMITH G.M. (2007), *Analysing Ecological Data*, Springer.

[5] Comment comprendre les effets rebonds dans la consommation domestique d'énergie ? Pour une socio-anthropologie des pratiques en transition

in *Regards sur la crise écologique. Pour une socio-anthropologie de l'environnement*, Tome 2, S. Poirot-Delpech & L. Raineau (eds), L'Harmattan (2012). Co-auteur : Sophie Nemoz, pp. 165-181.

1. Introduction

Afin de réduire la consommation énergétique des ménages et les émissions de gaz à effet de serre qui y sont associées, la plupart des politiques publiques de maîtrise de l'énergie s'appuie sur l'idée qu'il suffit d'introduire une technologie nouvelle moins énergivore, ou une information spécifique (étiquettes énergie, prescriptions...) pour que le public destinataire s'en empare, la fasse sienne et l'adopte, engendrant alors les changements attendus. Cependant, les observations empiriques indiquent que les économies d'énergie réalisées en pratique sont bien moindres que celles escomptées par cette approche qui mobilise les sciences de l'ingénieur, l'économie et la psychologie. La demande en énergie fossile continue d'augmenter, alors que les particuliers sont censés être mieux informés et équipés pour renverser la tendance. Les économistes appellent « effet rebond » ce paradoxe qui veut que les gains attendus d'efficacité énergétique soient partiellement annulés par une augmentation de l'énergie. Quand un service énergétique devient moins cher grâce à l'amélioration technique de son efficacité, on tend à en consommer une plus grande quantité. Cette consommation accrue d'un même service énergétique par un individu est qualifiée d'« effet rebond direct » en micro-économie. Celui-ci diffère de l'« effet rebond indirect » où le surplus financier, obtenu par l'usage d'un équipement plus efficace en énergie, est consacré à d'autres biens de consommation. A l'échelle macro-économique, la diffusion des techniques de plus grande efficacité énergétique débouche sur un troisième type d'effet rebond qui est cette fois susceptible de modifier la structure même des sociétés humaines. Quand l'efficacité avec laquelle une ressource exploitée augmente, le coût de celle-ci diminue et favorise les activités socio-économiques qui en ont un usage intensif. Ces dernières peuvent dès lors attirer des capitaux financiers et des

partenariats performants qui renforcent leur position sur le marché au point de dominer la concurrence. *In fine*, l'économie toute entière peut se tourner vers cette ressource devenue bon marché.

Si ces processus ne sont pas nouveaux, leurs estimations quantitatives demeurent délicates en ce qu'ils supposent d'appréhender, pour chaque technique employée, l'ensemble des répercussions structurelles que son emploi massif peut susciter. De même, sous l'angle micro-économique, l'amplitude des effets rebonds reste très discutée et peu élucidée. En abordant le problème avec un nouveau canevas théorique, nous développons une explication originale de ce manque à gagner au niveau des bénéfices écologiques des technologies dites « propres ». L'enjeu est de dépasser l'idée d'individus réfractaires à toute nouveauté, figés dans leurs habitudes énergivores. Notre analyse rend compte de l'impasse à laquelle l'ingénierie est confrontée. Plus largement, les politiques qui promeuvent les progrès techniques en efficacité énergétique sont remises en cause face aux questions soulevées par les effets rebonds. Comment infléchir durablement la demande en énergie, lorsque la consommation d'une ressource plus efficacement utilisée diminue pour mieux rebondir ? Une campagne de sensibilisation aux « technologies vertes » ne paraît alors plus être une réponse cohérente. Celle-ci s'inspire en l'occurrence de la théorie micro-économique standard dont l'hypothèse d'un acteur rationnel amène à considérer les consommateurs capables d'une allocation optimale des ressources pour maximiser leur utilité sous la contrainte d'un budget. Dans cette logique dominante en sciences économiques et techniques, et influentes sur les choix des instruments politiques pour préserver l'environnement, les « résistances » au changement sont peu compréhensibles et donc très complexes à résoudre.

En développant une analyse socio-anthropologique des effets rebonds, notre objectif est de contribuer à l'éclairage des dynamiques en jeu dans les pratiques qui adoptent au quotidien des équipements plus efficaces en énergie. Dans le cadre d'une recherche interdisciplinaire¹, menée aux côtés d'économistes et d'ingénieurs, nous nous attachons à parcourir les différents cadres d'analyse en sciences sociales qui coexistent autour des multiples logiques d'usage ordinaire de l'énergie. Il s'agit notamment de la théorie des pratiques (*practice theory*) qui met l'accent sur la diversité des

¹ Le projet de recherche HECORE "Household Energy Consumption and Rebound Effect" est financé par *Belgian Science Policy*. Chargé de la coordination du projet sur la période 2010-2012 et de l'analyse en sciences sociales, le Centre d'Etudes du Développement Durable (IGEAT-Université Libre de Bruxelles) étudie les effets rebonds auprès de la population belge, en partenariat avec une équipe d'économistes de l'Université d'Anvers et les ingénieurs de l'Institut de Conseil et d'Etudes du Développement Durable.

éléments sous-jacents : les petits objets et les grandes évolutions sociotechniques, les normes occidentales dans une société consumériste et les représentations familiales du bien-être, les compétences individuelles et les sentiers de dépendance sociétale. Il y a là matière à une socio-anthropologie qui reste encore largement à construire, et dont les contours vont être ici précisés à propos des effets rebonds, avec comme objectif corollaire d'entretenir le débat entre les disciplines scientifiques.

2. Une approche inspirée des théories des pratiques et de la transition

Afin de donner une interprétation socio-anthropologique des effets rebonds, nous recourons à la *practice theory*². Cette approche ne repose pas sur une théorie, c'est-à-dire un ensemble bien défini et cohérent de concepts. En effet, les multiples auteurs convoqués pour cerner ce « tournant pratique » dans les études sociologiques sont par exemple : Bourdieu, Giddens, Lyotard, Charles Taylor, Garfinkel, le dernier Foucault, Latour, ... L'idée fondamentale de cette approche postule que la *pratique* est la plus petite unité d'analyse sociale. Comme l'indique Reckwitz, il faut distinguer deux sens à « pratique » : d'une part la pratique (*Praxis*) désigne l'ensemble de l'action humaine, d'autre part les pratiques (*Praktik*) renvoient à une « théorie des pratiques sociales ». En ce dernier sens, « une pratique est un type routinier de comportement qui consiste en plusieurs éléments, interconnectés : formes d'activités corporelles, formes d'activités mentales, « choses » et leur usage, une connaissance de base ou compréhension, savoir-faire, états d'émotion et connaissance motivationnelle. » (Reckwitz, 2002, p. 249). Cette « nouvelle » approche a pour ambition explicite de complexifier les modèles psycho-sociaux basés sur les attitudes et les comportements d'individus (plus ou moins rationnels), tout en ne versant pas dans une approche holiste (pour laquelle les structures sociales sont causales), ni un relativisme épistémologique. L'ordre social et les individualités résultent des pratiques, qui peuvent être identifiées et décrites comme ayant une valeur intrinsèque pour ceux qui l'accomplissent. Si les processus d'imitation sont fondamentaux dans la création et la reproduction d'actes sociaux, il faut noter qu'un agent n'imité pas un autre individu mais la pratique actualisée par cet individu (Røpke, 2009).

² Schatzki (1996) et Reckwitz (2002) sont les auteurs le plus souvent cités pour avoir formalisé cette approche.

Différents auteurs débattent pour déterminer le nombre de dimensions qu'une théorie des pratiques doit prendre en compte (Gram-Hanssen, 2008). Nous pouvons repérer les composantes suivantes : matérialité, infrastructures et objets ; compétences, savoir-faire et compréhension pratique ; règles, procédures et connaissances institutionnalisées; engagement, buts et significations. Au-delà du fait de connaître le nombre de « composantes » d'une pratique, ce qui importe c'est la façon dont ces composantes sont présentes et se lient entre elles. L'intérêt de la théorie des pratiques est de pouvoir combiner des éléments provenant d'horizons disciplinaires variés et d'ainsi garder à l'esprit toutes les dimensions du problème. Dans le cas qui nous intéresse, celui de la consommation domestique d'énergie, la théorie des pratiques présente plusieurs avantages que nous indiquons ci-dessous.

Dans la mesure où les ménages ne consomment pas d'énergie mais utilisent une série d'appareils et de ressources qui leur procurent différents services (Wilhite et al., 1996), prendre les pratiques comme unité d'analyse permet d'établir une base de sens commun avec notre objet d'étude. Les pratiques sont en effet ce à quoi les personnes attribuent un sens. Cuisiner, se laver, discuter sur Internet, sont des activités pour lesquelles les individus ont à la fois une conscience pratique et discursive. Ainsi un « praticien » compétent est un agent capable de s'approprier un ensemble d'éléments pour un objectif précis, qui possède les outils appropriés et dont la conduite nécessite un certain degré d'attention. Par ailleurs le caractère éminemment matériel de la consommation est immédiatement inclus dans l'analyse des pratiques. Par exemple les analyses psycho-sociales considèrent que les appareils et infrastructures sont des facteurs extérieurs à la consommation d'énergie, qu'ils font partie du « contexte », n'offrant ainsi aucune prise sur cette dimension pourtant déterminante. En outre, le caractère dominant des habitudes et des routines est évident dans une approche par les pratiques. D'un côté il est explicitement considéré au travers des connaissances tacites ou de la conscience pratique nécessaire à l'accomplissement d'une tâche. D'un autre côté, l'idée que l'accomplissement d'une pratique se fait par la liaison active d'éléments hétérogènes implique des formes d'inertie inhérentes aux pratiques. En effet les pratiques sont inscrites à la fois dans des dispositifs matériels, des normes sociales et des routines qui se renforcent mutuellement. Les normes sociales et les conventions sont un facteur crucial dans l'explication du développement des pratiques, comme l'a montré Shove (2003). Les normes de confort, d'hygiène et de commodité ont co-évolué avec les infrastructures matérielles et les compétences des usagers. Il est cependant difficile dans certains cas d'expliquer cette co-évolution

sans attribuer un rôle moteur aux normes sociales, comme dans le cas du passage d'un bain hebdomadaire à une (voire deux) douches quotidiennes, et cela en seulement quelques décennies. Le dernier avantage d'une théorie des pratiques que nous mentionnons a été relevé par Warde (2005). Les pratiques sont intrinsèquement différenciées et dynamiques. C'est un fait (sociologique) que les individus accomplissent une même pratique de manières très variées. On peut même observer des résistances à l'accomplissement de certaines pratiques, et l'émergence de pratiques alternatives. En d'autres termes, les pratiques évoluent, ont une histoire, un début, un développement et une fin. Comme l'exécution d'une pratique requiert la liaison de composantes distinctes, on peut comprendre comment ces composantes s'enchaînent, se renforcent à certains moments, et se dispersent à d'autres.

Afin de décrire l'évolution des pratiques, nous empruntons à la « théorie des transitions technologiques » ses principaux concepts : régime sociotechnique, niche, paysage. (Geels, 2002). Le régime sociotechnique d'un secteur donné (mobilité, énergie, alimentation, etc.) est composé d'une série d'institutions dont les relations permettent de déplier le lien entre production et consommation : réseaux industriels, connaissances scientifiques et techniques, politique sectorielle, marchés et usagers, technologie, infrastructure, culture. L'ensemble des liens entre les acteurs constitue le régime sociotechnique en un ensemble dynamiquement stable. Un régime sociotechnique est activement créé et reproduit par différents groupes sociaux. La production et reproduction des relations entre les acteurs stabilisent les entités du système. La notion de niche technologique décrit le niveau auquel des innovations émergent. Ces nouveautés ne cessent d'apparaître, mais leurs formes sont instables tant qu'elles n'ont pas été intégrées dans un régime. La performance des nouvelles technologies est généralement faible au regard des normes du régime, et la plupart du temps elles disparaissent avant d'avoir pu être stabilisées. C'est pourquoi ces niches doivent être protégées, « couvées » si on veut leur accorder un devenir social. Enfin, le paysage sociotechnique désigne l'environnement sur lequel le régime n'a pas de prise directe tant le changement nécessite du temps à ce niveau. Il est constitué par l'ensemble des variables exogènes qui fixe le cadre d'évolutions possibles du régime : politiques nationales et internationales, macro-économie, démographie, changements climatiques, évolution culturelle, etc. Cette approche à trois niveaux permet de décrire comment s'opère la transition d'un régime sociotechnique à l'autre. Une innovation se développe dans une ou plusieurs niches et se diffuse grâce à divers processus : apprentissage, améliorations (notamment de la performance), diminution du prix et soutien de

groupes sociaux puissants. L'irruption d'une innovation perturbe le régime sociotechnique en place et le reconfigure en transformant par exemple les relations entre les acteurs. Des changements au niveau du paysage peuvent également favoriser l'éclosion d'innovations au niveau du régime. Le nouveau régime sociotechnique est stabilisé lorsque l'innovation est largement adoptée et que l'ensemble des pratiques présente une configuration identifiable.

Dans notre approche, nous substituons les pratiques aux innovations technologiques. Dans ce cadre, les normes sociales sont situées au sein du paysage. En effet, généralement elles concernent plusieurs secteurs donnés et elles évoluent plus lentement que les technologies. Cependant de nouvelles normes sociales peuvent émerger et favoriser ainsi l'éclosion de nouvelles niches. Nous songeons évidemment à la « réduction de consommation d'énergie » qui est clairement une norme sociale émergente et qui entre en contradiction avec d'autres normes sociales. Le régime sociotechnique est, de son côté, caractérisé par les habitudes et les routines des usagers, ce qui comprend une grande variabilité des usages au sein d'une même pratique... Dans la mesure où l'accomplissement d'une pratique se fait par la coalescence d'éléments hétérogènes, et qu'une pratique est intrinsèquement variée, la nouveauté d'une pratique ne se repère pas aussi facilement qu'une innovation technologique. D'un autre côté, le fait de prendre comme objet la consommation domestique d'énergie, et en particulier le chauffage et la mobilité, nous donne des marqueurs clairs de l'évolution des pratiques que nous voulons suivre. Les objets techniques (chaudières, voitures) sont à la fois constitutifs des transformations des pratiques et ce par quoi nous pouvons interroger l'efficacité énergétique.

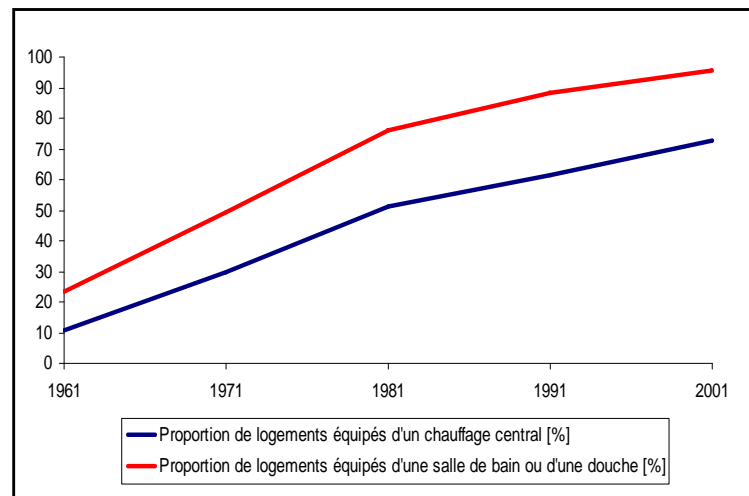
3. Une reconstruction socio-anthropologique des effets rebonds dans les consommations énergétiques du chauffage et de la mobilité

Les enjeux soulevés par la notion économique d'effet rebond se font plus concrets sous l'angle des usages quotidiens de l'énergie et de leur changement d'équipements au fil du temps. Plutôt que de se focaliser sur la ressource exploitée, il s'agit donc de comprendre ce que son service rend possible en termes de pratiques. Que ce soit pour le chauffage domestique, ou la mobilité entre le domicile et le lieu de travail, plusieurs études économétriques dans les pays de l'OCDE ont imputé des effets rebonds directs au déploiement des technologies plus efficaces en énergie dans ces deux secteurs d'activités (Greene et al., 1999 ; Jones, 1993 ; Johansson & Shipper, 1997 ; Houghton & Sarkar, 1996 ; Small & Van Dender, 2005 ; West, 2004 ; Schwarz & Taylor, 1995 ; Hsueh & Gerner,

1993 ; Klein, 1987 ; Guertin et al., 2003 ; Haas & Biermayer, 2000). Aujourd'hui, toutes s'accordent autour de l'estimation d'un rebond direct de la consommation énergétique du chauffage et de celle des transports automobiles, avec une amplitude de l'ordre de 10 à 40% par rapport aux économies d'énergie escomptées des gains d'efficacité technique (Sorrel, 2007). Mais, en pratique, ce ne sont pas seulement nos appareils qui se sont transformés. Les principaux défis posés par la technologie ont trait à sa dimension systémique. Cette dimension semble échapper à l'approche économique des effets rebonds qui les mesure en fonction des progrès techniques en matière d'efficacité énergétique ; toute chose étant égale par ailleurs. Pourtant, si on compare la pratique moyenne du chauffage dans un pays européen tel que la Belgique, la situation au commencement des années 2000 a considérablement changé par rapport à celle pratiquée au début des années 1960. A partir de notre modèle d'analyse inspiré des théories de la transition et des pratiques, il est possible de montrer comment la technologie recompose le social. La diffusion du chauffage central au cours de la période intègre une multiplicité de facteurs liés à l'état du régime sociotechnique. Si leur présentation dans le cadre de cet article n'a pas pour visée d'être exhaustive, elle permet en revanche de repenser les effets rebonds comme des conséquences non intentionnelles des transitions sociotechniques des pratiques, en restituant leurs dimensions matérielles, cognitives et symboliques.

Du point de vue des équipements techniques, le chauffage central a été activement approprié au détriment du poêle à charbon. En 2001, environ 70% des ménages belges étaient ainsi en possession d'un chauffage central, plus efficace en énergie, contre seulement 10% d'entre eux en 1961. La figure 1 rend bien compte d'un phénomène de généralisation à travers les taux de pénétration croissante des systèmes de chauffage central.

Figure 1. Evolutions des proportions de logements belges équipés en chauffage central et d'une salle de bain ou d'une douche de 1961 à 2001 (en % par an)³



En examinant comment la pratique moyenne du chauffage se transforme lorsqu'un ménage est équipé d'un système central de générateur de chaleur, nous pouvons tout d'abord remarquer l'installation de nouvelles canalisations au sein du logement. En outre, dans le champ matériel, il est à noter que cette évolution des techniques de chauffage domestique s'accompagne d'une extension de la superficie moyenne des résidences belges. En effet, l'un des indices peut être trouvé dans la proportion de logements équipés d'une salle de bain, ou d'une douche, qui suit en parallèle une courbe tout aussi croissante (voir la figure 1). La corrélation de ces deux phénomènes s'explique du fait de l'efficacité accrue du chauffage central. Comparé au poêle à charbon qui nécessite d'être installé dans chaque pièce à chauffer, ce nouveau système de générateur de chaleur permet de maintenir plus facilement la température intérieure d'un grand espace résidentiel, dont les fonctions sont susceptibles d'être séparées spatialement à l'image des soins du corps dans la salle de bain. Si cette innovation offre techniquement une plus grande efficacité à la consommation d'énergie des pratiques de chauffage, leur intensité actuelle peut donc être éclairée par le contexte des infrastructures locales. En Belgique, l'âge des bâtiments résidentiels est l'une des principales raisons techniques de leur consommation moyenne de 348 kilowatts heures (kWh)/m²/an (Belgostat, 2008). Avec un faible taux de démolition (0,075% par an, un des plus bas d'Europe⁴) et une croissance du parc de seulement 1% par an (Belgostat, op. cit.), un peu plus de 60% des habitations belges ont été construites avant 1980 et n'ont plus bénéficié de rénovation approfondie depuis

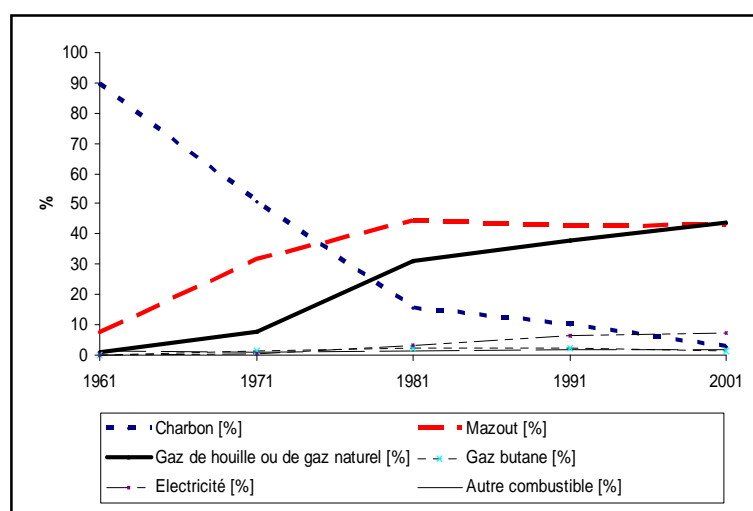
³ Source : DGSIE (Direction Générale Statistique et Information Economique.)

⁴ Statbel.be on Buildings; Federal Statistical Office.

(Conseil Central de l'Economie, 2006). C'est un élément du paysage sociotechnique tel que la théorie de la transition caractérise ses composants par leur très lente vitesse d'innovation (Geels, 2002). Ce paysage importe d'être dressé car, en l'occurrence, la pénétration des techniques d'efficacité énergétique comme le double vitrage, ou l'isolation, est plus faible que dans d'autres pays européens (CCE, 2006). Ainsi, sans avoir de prise directe sur l'enveloppe des bâtiments résidentiels et ses performances énergétiques, un changement de régime sociotechnique du chauffage domestique s'opère en Belgique où la proportion des ménages ayant recours au charbon ne cesse de diminuer des années 1960 aux années 2000, au profit de celles faisant de l'électricité ou du mazout.

Si, sur la figure 2, nous pouvons repérer à travers l'évolution du type d'énergie utilisé par les ménages belges, la transition des pratiques du chauffage au charbon vers le chauffage central, la plus grande efficacité technique de ce dernier ne suffit pas à infléchir la demande d'énergie de cette population européenne. De fait, avec une consommation moyenne de 348 kWh/m²/an (Belgostat, 2008), l'intensité énergétique du secteur résidentiel en Belgique reste une des plus fortes d'Europe. Ce phénomène suggère l'effet rebond de l'amélioration de l'efficacité énergétique des systèmes de chauffage du pays.

Figure 2. Evolutions des proportions des ménages belges selon l'usage de différentes sources d'énergie de 1961 à 2001 (en pourcentage par an) (Source DGSIE).



Une telle dynamique correspond également à une évolution de la compréhension pratique et des compétences. La mutation des savoir-faire incorporés et normalisés au fur et à mesure du temps décrit un changement de « régime sociotechnique » dans lequel l'analyse des théoriciens de la

transition peut être poursuivie (Geels, 2002), en retraçant les logiques à la fois normatives et cognitives du rebond de la consommation énergétique des pratiques de chauffage central par rapport à celles recourant au charbon. L'influence des normes non seulement techniques mais aussi, comportementales telles que celles sédimentées dans les habitudes, a été théorisée dans le champ des pratiques sociales (Taylor, 1964). Concrètement, c'est un facteur qui s'avère structurer les pratiques du chauffage domestique dans leur comparaison des années 1960 à nos jours. En effet, au cours des hivers d'autrefois, les températures intérieures oscillaient entre approximativement 25°C dans la cuisine et 15°C dans les autres pièces du logement. A présent, l'ensemble de l'espace résidentiel est chauffé de manière routinière pour maintenir une température moyenne de 21 à 22°C. Telle est la règle aujourd'hui appliquée dans les programmes thermostatiques, et l'attente observée chez les ménages belges pour qui et comme pour d'autres populations européennes, une température en deçà de cette chaleur ambiante paraît anormale. Il s'agit d'une question de confort dont les critères ont profondément évolué avec la diffusion massive du chauffage central. Le changement ainsi produit dépasse la manipulation de nouveaux appareils comme les radiateurs que les installateurs recommandent de purger avant de les remplir pour une nouvelle saison hivernale. Ce sont aussi nos normes vestimentaires qui se sont transformées au point de ne plus s'étonner d'être vêtus d'un simple tee-shirt chez soi lorsque la neige est en train de tomber à l'extérieur.

Au-delà des perceptions et des sensations, un important renouvellement de l'imaginaire social est remarquable dans la montée en puissance et en efficacité du système de chauffage central. Naguère, l'allumage du poêle à charbon dans la pièce principale était l'occasion de réunir tous les membres de la famille autour d'un seul et même foyer, et de partager ensemble différentes pratiques quotidiennes. Entre promiscuité et convivialité, celles dédiées à la cuisine, à la toilette et au nettoyage du linge à l'eau chaude, incombaient aux femmes en même temps que la responsabilité de surveiller régulièrement le feu allumé, sous peine qu'il ne s'éteigne (Stephany, 2006). A l'heure d'aujourd'hui, bien que ces tâches soient encore principalement féminines, nous ne les imaginons plus à proximité du chauffage, ni en présence de chacun des membres du ménage, mais de manière individualisée. La plus grande efficacité technique des chaudières au gaz, ou des radiateurs électriques, a bouleversé nos rapports au temps et à l'espace domestiques, entraînant une dispersion des pratiques d'usage énergétique en son sein. Que ce soit la cuisine, la toilette ou le nettoyage du linge, ces pratiques autrefois mutualisées autour d'un unique générateur de chaleur sont désormais compartimentées aux quatre coins du logement, non loin d'un des nombreux radiateurs. Au final,

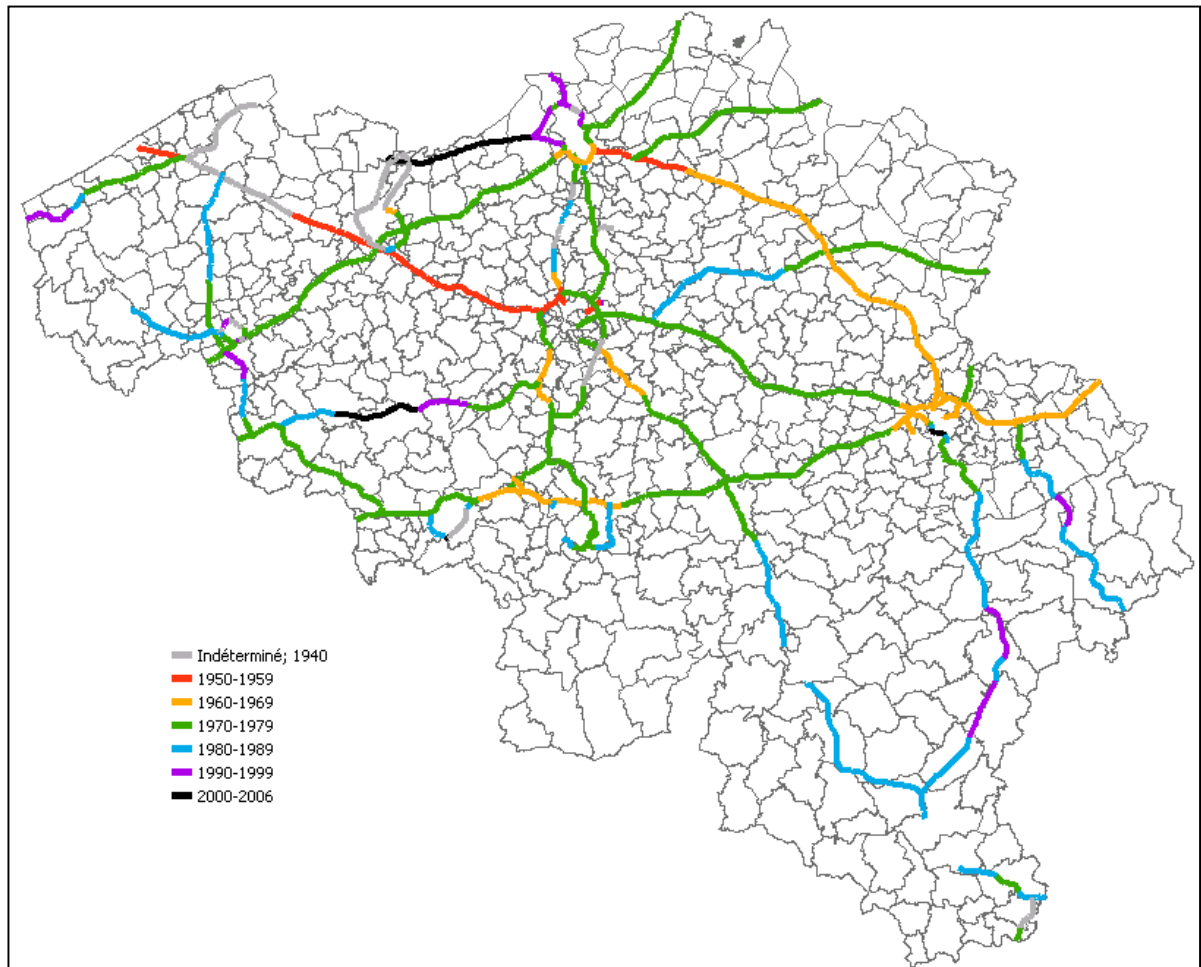
l'analyse de la transition sociotechnique des pratiques du chauffage au charbon vers le chauffage central offre une interprétation inédite de l'effet rebond direct dans ce secteur d'activités. Le phénomène mesuré par les économistes n'apparaît plus comme le produit pur et simple de l'ajustement des comportements individuels à la baisse des coûts de service du chauffage. Le concernant, la dynamique des effets rebonds ressort plus largement d'un changement de système non seulement matériel mais aussi, cognitif et symbolique de la pratique qui, aujourd'hui, rend possible un usage de l'énergie à la fois élargi spatialement et concomitant à d'autres pratiques énergivores. C'est à celle de la mobilité automobile entre le domicile et le lieu de travail que notre modèle de compréhension des effets rebond va à présent se consacrer.

Les pratiques de déplacements quotidiens constituent un cas bien différent de celles du chauffage domestique. En examinant sur la même période comment la mobilité des ménages belges s'est transformée en moyenne, nous pouvons tout d'abord observer que le service énergétique aujourd'hui employé n'est plus le même. De la pratique de la marche à pied dans les années 1960 à la conduite d'une voiture dans les années 2000, un effet rebond macro-économique s'est produit dans le secteur des transports. Tel que les économistes définissent ce phénomène, il y a eu un changement structurel des activités et un effet de croissance économique dans l'industrie automobile. Cela se remarque en Belgique par un changement du paysage sociotechnique de la mobilité. En effet, la période de 1965 à 1973 renvoie à l'âge d'or de la construction des autoroutes belges. La cartographie ci-dessous permet de le visualiser.

A la fin des années 1980, le réseau routier était déjà saturé en Belgique, avec un trafic automobile extrêmement dense dans certaines zones urbaines⁵. Le phénomène n'a cessé de s'accroître depuis. Il est fortement corrélé avec la constante augmentation du nombre de voitures privées dans le pays.

⁵ Source: PFS Mobility and Transport.

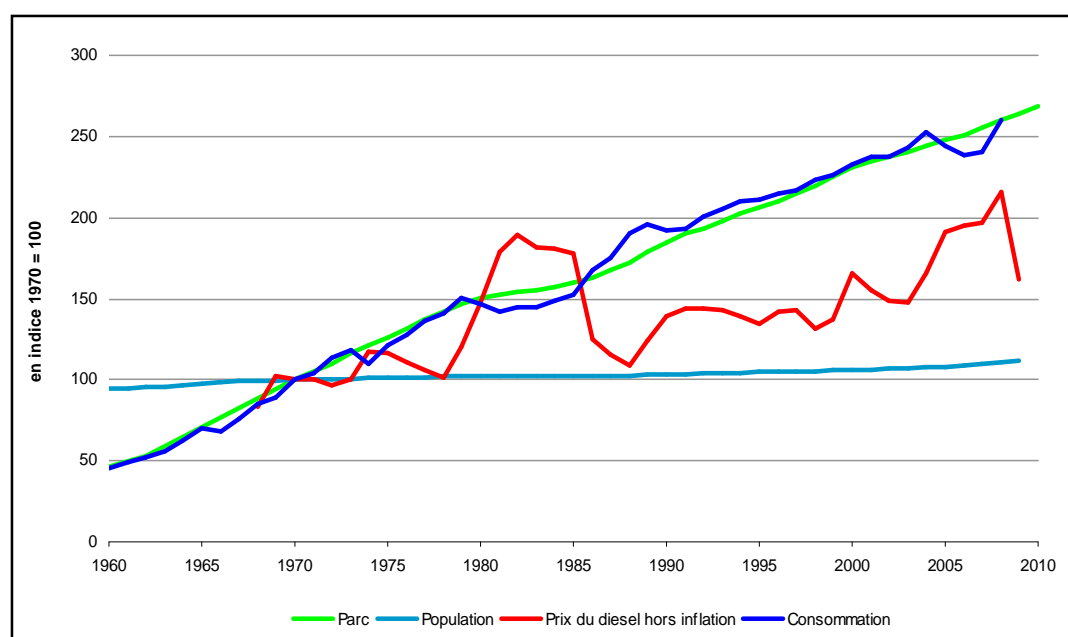
*Figure 3. Cartographie du réseau autoroutier selon les périodes de construction en Belgique.
(Source: PFS Mobility and Transport)*



De nombreux travaux ont constaté que le processus de recomposition des systèmes et tissus urbains induit un certain relâchement des contraintes de mobilité, du fait principalement de la banalisation de la conduite automobile (Ascher, 1995 ; Dupuy, 1995 ; Kaufmann et al., 2001 ; Newman & Kenworthy, 1989). Sur la base de cette observation, M. Wiel a désigné la transition urbaine comme étant, sur le long terme, le processus structurel de redéploiement des villes sous l'impact de l'auto-mobilité motorisée : « la transition urbaine serait le redéploiement (à potentiel identique d'interaction) des composants urbains sous l'effet d'une évolution du coût généralisé de déplacement, donc des arbitrages des ménages et des entreprises dans leur localisation et/ou leur tendance à la concentration » (Wiel, 1999, p.56). Ainsi, d'une courte de distance à parcourir jusqu'au lieu de travail dans les années 1960 à des kilomètres de conduite automobile sur route, voire autoroute, dans les années 2000, la mobilité quotidienne des ménages belges s'est complètement transformée. L'énergie humaine de la marche à pied, ou nécessaire à l'usage d'un

vélo, a été peu à peu remplacée par l'essence et ses différents types de carburants plus ou moins polluants qui alimentent les déplacements en voiture⁶. A la différence des connaissances largement informelles des itinéraires piétonniers, les individus ont dû développer une agilité nouvelle liée à la compréhension pratique de la conduite automobile et à l'apprentissage du code de la route, une capacité officiellement reconnue par le permis de conduire. Dans l'imaginaire de la pratique, ce dernier renvoie à une sorte de passeport pour la liberté, et pas seulement à une nécessité pour se rendre sur le lieu de travail. Les sensations de vitesse peuvent griser, et les gains de temps sont une source de commodités, sans compter le confort d'un coffre à remplir plutôt que de faire peser le poids sur les bras.

Figure 4. Evolutions des indices du parc automobile, de la population, du prix du diesel (hors inflation) et de la consommation en Belgique entre 1960 et 2010 (Source: PFS Mobility and Transport)



Comme dans le cas de la pratique du chauffage central, l'efficacité énergétique des déplacements automobiles a modifié nos rapports au temps et à l'espace. Cette transition des mobilités quotidiennes a également changé le système des pratiques. Concrètement, les gains spatio-temporels rendent possible un enchaînement continu de différents trajets sur de plus longues distances, que ce soit pour aller au travail ou pour des déplacements avant et après les heures passées à travailler, ne serait ce que ceux effectués pour les courses ou l'accompagnement

⁶ Il est à noter qu'entre temps, le train a aussi joué un rôle important, notamment à travers les réseaux vicinaux.

des enfants à l'école. Cette expérience pratique de l'efficacité énergétique des voitures peut donc engendrer des effets rebonds aussi bien directs qu'indirects, à l'instar de celle du chauffage central. Cependant, à l'inverse d'une dispersion des pratiques énergivores en parallèle (cuisine, douche, nettoyage du linge, etc.), c'est à travers un processus successif d'intégration d'autres mobilités que le phénomène de rebond se produit dans la consommation énergétique des transports du domicile au lieu de travail.

4. Conclusion

L'effet rebond est généralement avancé comme argument contre les politiques basées uniquement sur l'efficacité énergétique. Pour quantifier les effets rebonds les économistes doivent cependant s'appuyer sur des hypothèses éloignées des conditions réelles des pratiques quotidiennes. Ainsi l'efficacité mesure la quantité d'énergie pour accomplir un service donné et ne considère que le versant technique de la pratique. Cela signifie que les services utilisés par un ménage sont ramenés à un ensemble d'activités mutuellement exclusives et dont la somme correspond à la consommation totale d'énergie du ménage. La notion de service n'est ici pas précisée. Il est en outre supposé que les pratiques restent identiques lorsque la technologie change, ce qui est très rarement le cas. Cette hypothèse n'est possible que parce que technologie et comportement sont séparés abstraitement, comme au laboratoire. Du coup, les liens entre services, ainsi que leurs évolutions, ne peuvent être considérés — alors que notre approche, basée sur les théories des pratiques et de la transition, indique un nouveau type d'explication aux effets rebonds.

Les performances énergétiques des chaudières et des voitures n'ont cessé de s'améliorer depuis qu'elles sont sorties de leurs « niches ». Si l'efficacité des pratiques est mesurée en unités relatives (kWh/m² pour le chauffage, litres d'essence/km parcouru), on comprend que la consommation totale d'énergie puisse malgré tout s'accroître : la superficie des logements et leur nombre ont augmenté, le nombre de véhicule et le nombre de kilomètres parcourus se sont multipliés. Notre explication est toutefois différente. En nous concentrant sur l'évolution des pratiques nous avons en effet montré que leur inscription dans un régime sociotechnique entraîne les ménages à réaménager leurs activités. Les significations de ces transformations sont multiples et nous avons notamment souligné l'importance des aspects de confort, commodité et gain de temps que permet le déploiement des nouveaux objets techniques. Ainsi les pratiques accomplies par un ménage se

sont multipliées et diversifiées. Dans le cas du passage du poêle à charbon à la chaudière, les pratiques se sont dispersées dans la maison au fur et à mesure que les ménages étaient acquis à de nouveaux objets. Dans le cas de la voiture, les pratiques autrefois séparées trouvent un lien dans la conduite automobile individuelle et de plus grandes distances parcourues. Même si chaque pratique prise individuellement est plus « efficace » qu'autrefois, les nouvelles concaténations de pratiques entraînent une augmentation de la consommation d'énergie, tant au niveau des ménages qu'au niveau sociétal.

Bibliographie

- ASCHER F. (1995), *Ces événements nous dépassent, feignons d'en être les organisateurs. Essai sur la société contemporaine*, La Tour d'Aigues, Ed. de l'Aube, coll. "Monde en cours".
- BELGOSTAT, (2008), *Building Renovation and Modernisation in Europe: State of the Art Review*, Erabuild.
- CCE (Conseil Central de l'Economie), (2006), *Avis complémentaire à l'avis du 21 décembre 2005 relatif à l'efficacité énergétique dans le secteur du logement en Belgique*.
- DUPUY G. (1995), *L'Auto et la ville*, Paris, Flammarion, coll. Dominos.
- GEELS F.W. (2002), "Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study", *Research Policy*, vol. 31, 8/9, p. 1257-1274.
- GRAM-HANSEN K. (2008), "Heat comfort and practice theory. Understanding everyday routines of energy consumption", *Proceedings of the SCORE Conference*, Brussels, March 2008, p. 53-72.
- GREENE D.L., KHANE J., GIBSON R. (1999), "Fuel economy rebound effect for US household vehicles", *Energy Journal*, 20, p. 1-32.
- GUERTIN C., KUMBHAKAR S., DURAIAPPAH A. (2003), *Determining demand for energy services: investigating income-driven behaviours*, International Institute for Sustainable Development.
- HAAS R., BIERMAYER P. (2000), "The rebound effect for space heating – Empirical evidence from Austria", *Energy Policy*, vol. 28, 6-7, p. 403-410.
- HAUGHTON J., SARKAR S. (1996), "Gasoline tax a corrective tax: estimates for the United States, 1970-1991", *The Energy Journal*, 17(2), p. 103-126.
- HSUEH I., GERNER J.L. (1993), "Effect of thermal improvements in housing on residential energy demand", *Journal of Consumer Affairs*, 27(1), p. 87-105.
- JOHANSSON O., SHIPPER L. (1997), "Measuring the long-run fuel demand of cars: separate estimations of vehicle stock, mean fuel intensity and mean annual driving distance", *Journal of Energy Policy*, 37, p. 1456-1469.

- JONES C. T. (1993), "Another look at U.S. passenger vehicle use and the 'Rebound' effect from improved fuel efficiency", *The Energy Journal*, 14(4), p. 99-110.
- KAUFMANN V., JEMELIN C., GUIDEZ J.-M. (2001), *Automobile et modes de vie urbain : quel degré de liberté ?*, Paris, La Documentation française.
- KLEIN Y. L. (1987), "An econometric model of the joint production and consumption of residential space heat", *Southern Economic Journal*, 55(2), p. 351-359.
- NEWMAN P.W.G., KENWORTHY J.R. (1989), *Cities and automobile dependence: an international sourcebook*, Aldershot: Gower.
- RECKWITZ, A. (2002), "Towards a Theory of Social Practices: A Development in Culturalist Theorizing", *European Journal of Social Theory*, 5, p. 243-63.
- RØPKE I. (2009), "Theories of practice -- New inspiration for ecological economic studies on consumption", *Ecological Economics*, 68, p. 2490-2497.
- SCHATZKI T. (1996), *Social Practices: A Wittgensteinian Approach to Human Activity and the Social*, Cambridge, Cambridge University Press.
- SHOVE E. (2003), *Comfort, cleanliness and convenience: the social organization of normality*, Oxford, Berg.
- SMALL K. A., VAN DENDER K. (2005), *A Study to Evaluate the Effect of Reduced Greenhouse Gas Emissions on Vehicle Miles Travelled*, Final Report for the California Air Resources Board, ARB Contract Number 02-336.
- SORREL S. (2007), *The Rebound Effect: an assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency*, Sussex Energy Group for the Technology and Policy Assessment function of the UK Energy Research Centre, UK-ERC.
- STEPHANY P. (2006), *Les Années 60 en Belgique*, Bruxelles, Ed. Racines.
- TAYLOR Ch. (1964), *The Explanation of behaviour*, London, Routledge and Kegan Paul.
- WARDE A. (2005), "Consumption and theories of practice", *Journal of Consumer Culture*, 5, p. 131-51.
- WEST S.E. (2004), "Distributional Effects of Alternative Vehicle Pollution Control Policies", *Journal of Public Economics*, 88(3-4), p. 735-757.
- WIEL M. (1999a), « Mobilité, interactions sociales et dynamiques territoriales ». *Urbanisme*, Hors-série n°12, p. 54-57.
- WILHITE H., NAGAKAMI H., MASUDA T., YAMAGA Y., HANEDA H. (1996), "A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway", *Energy Policy*, 24, p. 795-803.

[6] Articulating the body in the theorizing of consumption

in *Energy Research and Social Science* 1 (2014), pp. 56-64. Co-author: Harold Wilhite.

Abstract

Mainstream neo-liberal theories on household energy consumption are characterized by reductionist assumptions about consumers and the socio-material contexts of choice. Much of the social science attention on consumption has focused on mental states, meaning, cognition, and rational choice. In mainstream theory, body is collapsed into mind and the demand for goods is both disembodied and decontextualized from social and material worlds. These reductions hinder the development of a robust theory of consumption and new thinking in energy savings policy. In this paper we bring the body back to consumption. We argue that people's exposure to practices, both in the form of personal and culturally mediated experience, embodies knowledge (and meanings) and this in turn affects the ways we perform energy-consuming acts. We draw on work on body, habitus and perception by anthropologists Marcel Mauss, Pierre Bourdieu, Jean-Pierre Warnier, and philosopher Bergson, as well as more recent perspectives framed under the heading of social practice theory.

1. Introduction: the plasticity of bodies

Despite a quarter century of critique, a theory of household consumption based on rational choice and methodological individualism has stripped consumption from its grounding in historical processes and has ignored the capacity of the material world, including human bodies to affect consumption. In mainstream theorizing about energy consumption, body is collapsed into mind and the demand for goods is both disembodied and decontextualized from social and material worlds. Yet, bodies are repositories of a unique and explicit form for knowledge about the world and this knowledge affects the ways we consume. Concrete experiences, involving both body and perceptions are always brought to bear in learning and adapting ourselves to new environments.

The escalation of energy consumption can be interpreted as a transformation of bodies. The modern body is increasingly re-equipped and re-shaped through new perceptions of comfort.

The co-evolution of bodies and the material world thus affects the ontology of energy consumption as well as providing an interesting approach to conceptualizing changing consumption practices. Further, a theory of body is highly relevant for a policy domain interested in reducing the energy intensity of everyday practices. The body perspective opens policy for new forms for experimentation beyond the usual market experiments in which consumers are presented with new products and either select or reject them. Our intention in this chapter is to attempt to reposition the body in the theorizing of energy consumption and to infer how this could create new, fertile ground for policies directed at reducing energy consumption. Along with other papers in this inaugural issue that discuss various elements of household energy consumption [1, 2, 3, 4], our ambition is to contribute to the development of a pragmatic theory of energy consumption relevant for both academics and policy makers.

In developing a theory of body and consumption, we draw on work on body and habitus by anthropologists Marcel Mauss [5], Jean-Pierre Warnier [6,7] and Pierre Bourdieu [8,9]; work on perception and memory by Bergson [10]; as well as our own previous work on the body-consumption relationship [11,12,13]. Reflections will be made on the relative strength of embodied knowledge in actions such as transportation, cleaning, preparing (and eating) food and achieving thermal comfort. We will relate the embodying of knowledge to repetition, social complexity, as well as to the geography of the space in which the action takes place and the numbers and kinds of material objects involved in the practice.

We will aim at avoiding the mind/body duality introduced by Descartes, who proposed that all thought is disembodied and logical. We will argue that the habits of language intellectually design our bodies as well-defined entities, yet the boundaries between thought and reflex, body and mind are malleable and overlapping. We do not consider the body as a natural and fixed entity, or a passive slate on which the social is recorded [e.g. 14,15]. Rather, the body is a methodological and conceptual tool that extends the grammar of social practices. We will take on the task of enriching these insights on bodies in order to make links between disciplinary approaches rather than juxtaposing them. We propose that bodies are at the intersection of the cultural and natural, the human and non-human, the individual and collective. In this chapter, we aim to begin an exploration of these intersections.

Bodies are part of the material world and continuously exchange energy with their environment. Like the bodies of all living beings, human bodies have to reproduce themselves everyday through the finding of a favorable environment, the acquisition of food, the creation of comfort and eventually by the physical act of procreation. Anthropology and philosophy provide ways of seeing and conceiving bodies (the plural is important) within practices. In order to avoid reduction to a particular discipline or knowledge tradition, however, we will theorize the body in its articulation with all of the other dimensions of human practices, including materiality, embodied knowledge and habits. Bodies are thus inserted into practices without subtracting any of the other relevant entities. A human being results from other bodies, and is formed with and through a body. Bodies have to reproduce themselves regularly to be preserved, but humans have developed many ways to conserve themselves. Anthropology shows how bodies are variably shaped through time and space [12] and phenomenology has shown how diversely we are in the world through our affections and perceptions. We suggest that this diversity of bodies can be understood through the mutual fashioning of practices and bodies. Practices require skilled bodies, and bodies are shaped by practices [16].

We explain this diversity of bodies-in-action in the next section by developing the characteristic of bodies as both sites of habits and of processes. On one hand, the constitution of habits is elucidated by the reproduction and embodiment of situations. On the other hand, embodiment is described as the passage of perceptions into memories. In order to account for embodiment, which is a process of accommodation, we need a theory of perception — a profound exercise that will be only sketched out in this paper. In the following section, we examine how bodies co-evolve with a changing material world. We develop the point that bodies can be described as inertial and resistant to change, or as possibilities for new forms for experimentation. We explore this ambivalence in the section “bodies as policy subjects” in order to emphasize the experimental aspects. We conclude that we know little about the limits of the plasticity of the human body or, in the words of Spinoza, “no one has hitherto laid down the limits to the powers of the body” [17: Ethics, III, prop. 2].

2. Bodies as active entities in practices

Bodies are constitutive of practices in two distinguishable but overlapping ways, first as entities that interact with other objects in a practice and second as the sites of actions or activities. Thus, a body is a spatiotemporal entity that can to some extent be identified by coordinates (we will see later that bodily boundaries are sometimes unclear). Second, a body is a place where activity and events occur. Considered as a delimited entity, the body can be passive or active. Bodies participate in actions and are a constitutive part of the practices which in turn constitute social life. Bodies are a necessary component of a practice, or to put it another way, there is no such thing as a practice without at least one body. Bodies have experiential histories and are not only physical, material entities but are also vessels for experiential knowledge. This knowledge is brought to bear in practices.

Bodies are also sites in which actions or events occur. The malleability of bodies appears clearly in the diverse capacities and shapes which they can take on. For instance, sleeping can be seen variously as an action, an activity and a practice. As Mauss observed, there are many different ways of sleeping, linked to conventions and to the configuration of the material accompaniments and surroundings [5]. Sleeping, sitting or walking is not more ‘natural’ than eating or talking. Simple practices such as these have complex geographies and histories, and are “culturally” shaped by the use of objects and infrastructures. Boltanski shows that the usages of the body vary with social class [18]. Foucault analyses how bodies are fashioned within disciplinary practices [19]. He regards practices as the processes by which bodily properties crucial to social life are formed. Thus on the one hand, bodies are constitutive of practices, but on the other they are constituted through practices. Seen this way, bodies are not limited to the physiological body, but can be considered as extended through objects and materialities. This conceptual maneuver provides a new perspective on experimentation that is interesting for the theory and policies of energy consumption and energy savings. We develop this point below.

2.1 *Bodies as sites of habits*

When bodies are considered as spatiotemporal entities with relatively well-defined boundaries, they engage in social life through practices. Bodies are part of the material world. Bodies interact with other entities that are more or less predictable. This interaction is affected by the cultural and individual histories of the body, through which knowledge is embodied and made agentive, as well

as places where knowledge is deposited through the repetition of actions. Even though some of the bodily actions associated with the accomplishment of household tasks have been simplified through the increasing use of complex technologies, bodies are still involved in producing services such as clean clothes, meals, indoor comfort and so on, even if it is at the level of minimalist action such as pushing a button on a household electrical appliance. In the activities of a modern household, many actions (and knowledge) have been surrendered to technological systems which begin in the home but extend outward through infrastructures and technologies of provision. Nonetheless, in any activity, from speaking, to writing, to sharing a meal or playing sports, our bodies are always present to our actions. This is also true of actions usually associated with cognition, such as taking an exam or playing a game of chess; therefore, we can say that bodies are constitutive of human practices.

In order to understand practices, we need to look at bodies, their interaction with other bodies and with things. If bodies are reduced to the visible or observable human part of a practice, we stray into behaviorism. By this we mean that behavior is made synonymous with visible action: it can be said to be the uppermost layer of a practice. But many processes and elements are not visible (meanings, competences, embodied knowledge). Further, the body is only one agent among many in the performance of a practice. The capacity to enact practices (agency) is the result of the coordination of different agents, both human and non-human. In other words, agency in practices is distributed among the entities that are enacted in a practice [20,11], of which the body is a crucial entity. Any action involving a body has to be analyzed within the assemblage of elements that contributes to the performance of a practice.

Not all forms for practices are economically rational or even instrumental. Humans engage regularly in inexplicable behaviors, mysterious purchases, odd uses of objects and baffling forms for waste. There are countless examples of this from the energy consumption literature. But we can make better sense of an action if it is linked to other actions and related to a recognizable pattern of agents. An action is meaningful once it is inscribed into a practice. For example, when we observe someone buying vegetables in a shop, we understand this action in the perspective of preparing a meal. This involves a purposive shopper, but will only be consummated if the right shop is located within the shopper's geographical range and the foods being sought are available. Similarly, the use of a transport mode can only be fully explained if constraints and infrastructures are included in the elements that determine final individual choices. For example Kaufmann shows

that the choice of transport mode is chiefly determined by the constraints, such as the availability of parking spaces at the destination [21]. Another important consideration is the negotiation involved as the consumer chooses among the range of choices available. The result (consumption) depends on the chooser's capabilities, which are largely determined by her/his practical experiences. Practices are thus the units of analysis that allow us to understand how daily life is reproduced.

An interpretation of the active body in practice requires openness to social meaning. This is in line with the ethno-methodological principle that practitioners make sense of their activities through common sense methods [22,23]. This 'sense' consists of both reflexive and non-reflexive elements which generate the meaningful and patterned character of everyday life, actively produced through recurrent practices. Our recognition of a practice is usually through an identification of the movement of a body in relation to objects in a pattern of activities. This recognition allows us to state that, for instance, this person is cooking, that one is sleeping, these people are playing football, and those people are driving. However, we should not confuse the moving body with the practice, nor should we assume that those movements are generated through a series of cognitive and reflexive decisions.

Bodily movement relies on reflexive decision making, but also on the deployment of knowledge embedded through interaction with other bodies and things in practices. The implications of this line of reasoning is that 'practical knowledge' [9, 24] or 'practical consciousness' [25] is not separate from mental processes, but neither should mind be regarded as transcendent to practice and accorded an ontological privilege in theories of action (as is the case in mainstream energy research and policy). In theorizing consumption-related practices, we must avoid both cognitive reductionism and methodological individualism. The former discards the body while the latter discards the multiple contributors to the practice. Methodological individualism precludes us from conceiving a given practice as a multiplicity, or a plurality of actualizations of what looks like similar action patterns.

Theories of practice have attempted to explain how habits are formed through the joint re-creation of place and memory [27,5,9]. We find Bourdieu's conceptualization of habitus to be valuable for understanding how memory affects the reproduction of practices. Drawing on Marcel Mauss' work on embodiment, Bourdieu developed a theory of habitus that translates variously into an organizing capacity, a habitual state, and a way of being, a predisposition, or a tendency [27]. Habitus is central in the Bourdieu's explanation of how conduct becomes regulated. It is a scheme

that converts the sediment of past experiences into dispositions for future actions. Habitus is the process by which knowledge acquired from experience, and thereby having both internal and external sources, is made one's own, namely embodied. "The habitus - embodied history, internalized as a second nature and so forgotten as history - is the active presence of the whole past of which it is the product. As such, it is what gives practices their relative autonomy with respect to external determinations of the immediate present" [9].

The body is conceived as a repository of past experiences, both individual and collective, and as such, affected by social relations and cultural learning. The body is thus not only the site of action, but also of dispositions for future actions. A large part of habitus is unconscious, implying that the sources of agency for actions are not always transparent to the subject. The body makes possible actions that are accomplished without conscious direction, but also allows purposive actions (such as typing, sports, dance) to be carried out without conscious intervention. Heating, cooling, switching lighting on and off, closing doors and showering are examples of actions that often run on automatic. Habitus is not repressive and constrictive as has been construed in some post-modern critique (see [28]), but rather allows individuals to negotiate everyday life without the need for repetitive and constant sense-making. Repetition creates interactive convenience between a "socially informed body" and its environment; this contributes to the formation of dispositions for future actions.

Aside from the issue of regularity of bodily practices, it is also important to account for the creation and evolution of new practices. All practices are not regularly performed. The repetition of the same practice is always embedded in uncertainty; practice trajectories show that practices evolve and that habits are diversified. De Certeau emphasizes that everyday practices are replete with creative strategies [29]. Thévenot also contests the idea that practices are solely the result of repetition [30]. He wrote that "The notion of habitus, which Bourdieu elaborated as the centerpiece of his theory of the reproduction of social order, short-circuits the analysis of the personalized and localized dynamics of familiarity" [27:74]. Within his notion of pragmatic regime, Thévenot describes these dynamics, including personally inventive adjustments that allow people to pursue new directions while being absorbed in routines. In our contemporary societies, human beings constantly change the scope of their engagement, shifting from one pragmatic regime to another according to the demands or conditions specific to the situation.

From a Science and technology Studies (STS) perspective, Pickering claims that habits and skills are gained through a process of accommodation between a body and a material arrangement, in other words, through mutual adjustments [31]. Practices are formed and changed in a permanent action and reaction between the practitioner's body and the objects involved in the practice. If practices are construed as sheer regularities or as shared habits, it is not possible to understand how varied material arrangements are created and how they can shape human activity.

2.2 Bodies as processes

In order to account for the inventive strategies and permanent negotiations between the body and objects, we have to move from the body as a spatiotemporal entity to the setting in which events take place. We can thus complete the relatively fixed feature of the habitus by introducing the idea of an "active present", a duration in which events occur. This allows us to describe the process of embodiment. As we will elaborate, the plasticity of bodies explains how capacities can be embodied and the contributions to embodiment of perception, memory and tacit knowledge. A theory of body useful for analyzing consumption requires an acknowledgement of the contribution of perceptions.

Bodies are shaped through learning and sensory-motor experiences. Warnier defines this shaping as 'motoricity' and explores the possibility of an ethnography of motoricity within a given material setting [6]. He claims that "it is not possible to divorce material culture studies from the study of the body" (p.10). He is interested in learning processes that show how the techniques of the body incorporate material arrangements. Apprenticeships and games are his favourite examples as they display how motoricity is at the basis of the embodiment of habits. This can be applied to the ways we move (with or without equipment) and to the ways we use objects.

Perceptions are active in the conduct of a practice. To sketch a theoretical framework that links body, perception and action, we turn to Bergson's book, *Matter and Memory* [10]. Bergson's philosophy is relevant for a practice approach inasmuch as it does not start with a reflexive subject who structures the world. In contrast to the reflexive philosophy of Kant or Husserl, Bergson is not concerned with a self who contemplates the world and searches for the conditions of knowledge. He assumes that 1) the world is given as a bundle of multiplicities that cannot be reduced to spatiotemporal extensions, 2) life is a vital impulse, a creative energy, a strength of acting, with the body as the center of action, 3) living beings interact with their environment

through a mix of perception and memory, but only human beings can learn the true distinction between them, thanks to language.

Perception and memory play chief and complementary roles in the re-articulation of the body. According to Bergson, there is no neat separation between the things with which the body interacts and our perception of them; things are in perception but perception is in (or dependent upon) things. Perception is always oriented towards action; in other words, perception is the preparation of a possible action. Perception modifies the body because it enables a new disposition to act. Pure perception gives us a world without subject and without past, always in the present. Perception can be distinguished from memory, which is dependent on experience and is of two kinds: habits and images of past events. Memory is directly linked to the body and its actions: the body condenses its past into motor habits. Memory is produced through the replaying of the same action (as the learning of a text by heart), through the repetition of the same causes and effects. Memory has a practical function. It discovers in the present situation elements that resemble a former situation. In this sense, memory is similar to Schatzki's notion of practical understanding [24] and to Bourdieu's dispositions [9]. It is relational because it links former situations to present objects. Pure memory retains in all its details the picture of our past life. Memory allows us to make distinctions and choices.

According to Bergson, consciousness oscillates between pure perception and pure memory. Applying this to action, the performance of a practice can be said to draw on a mix of perception and memory. A practice is performed in a given place, but the perception of this place depends on the body performing the practice. In a practice, a place looks like the *Umwelt* described by von Uexküll: any animal perceives only a limited set of entities, namely those that are relevant for the reproduction of its life [32]. Similarly, in a practice, many objects are not really present to the practitioner. Those properties are perceived are those that are useful for the enactment of the practice. Following Bergson, we propose that memory is distributed between the perceiving body and the elements of a practice. Memory is present in the body (perception) but also in the social and physical contributors to the practice. For example, the habits of eating may be disturbed when moved from the kitchen to a restaurant or formal event such as a wedding, where there are different arrangements of cutlery and different social conventions on their proper use. Another example of an external perturbation of memory is when a kitchen is reorganized and cooking utensils are moved to new locations. It may take several days to get used to the new placement. For

most of us, wedding attendance will never be regularized to the extent that wedding habits form. In the case of the reorganized kitchen, once the new arrangements have been incorporated into memory, the stage is set for the formation of new habits.

Armed with these reflections on memory, perception and habit, we can now better describe the process of the embodiment of tacit knowledge. Practices are both the producers and the products of memory. Bodily experiences are always a mix of perception and memory, and embodiment is the process that engraves knowledge into habits. Embodiment is the creation of a memory by repetition. Body is the site of the knowledge and skills used in executing routines. Collins makes the distinction between somatic tacit knowledge and collective tacit knowledge [33]. Somatic tacit knowledge is knowledge which is linked to actions such as balancing on a bicycle, which are performed automatically and defy explanation by the performer. Collective tacit knowledge is gained through negotiation with social conventions. Thus riding a bike in Tokyo, Oslo or Brussels draws on both somatic and collective tacit knowledge, the latter making the practice of biking in each of these places different. These forms for tacit understanding, skills and differentiated knowledge are dependent on the plasticity of bodies. In the performance of practice, perception plays the role of the motor and memory the selector. As active elements of a practice, perception and memory yield to adjustments and accommodations between bodily gestures and a material arrangement. Furthermore, bodies are guided by a wide range of sensorial data, including not only visual but also tactile, auditory, olfactory and proprioceptive hints.

To sum up this section, we have outlined a non-dualistic approach to the body in order to establish an interdisciplinary frame that would embrace both theoretical and experimental aspects of consumption. We want to avoid considering mind as something radically different (or transcendent) from the body. Differing practices involve differing assemblages of heterogeneous entities. No entity is given an ontological privilege over the others when we are attempting to unfold the routines and other daily activities of householders. Obviously we do not state that mind and body have the same reality. But in focusing on bodies, we have teased out important properties of practice that are highly relevant to theorizing consumption. The reproduction of practices is a mix of permanence and invention. This interplay is indispensable to understanding change.

Acknowledging the dynamics of practice could lead to new ways to design policy interventions. At the level of the body this change of frame would encompass perceptions and memories. Not only is the object constructed in perception, but so are also the subject and the body. Bodies are

affected and changed by experiences. The repetition of a pattern of action establishes progressively a convenience between a body and its environment. Normality is socially constructed through the repetition of similar perceptions and memories. Thus practices evolve with bodies through two mechanisms: perception and the embodiment of capacities. Transforming practices requires the creation of new perceptions and memories within bodies. In a practice, perception is oriented towards what is happening now. However, this orientation depends partly on a memory of past events. When perception is engaged in a practice, some memories are activated. Memory is distributed to the extent that some embodied memories (explicit or tacit knowledge) are convoked in tandem with entities that have crystallized in a social memory. In the next section we explore the implications of these insights on body and memory for a deeper understanding of energy consumption.

3. Body and energy consumption

Our development of a theory of body in consumption thus far may seem to be abstract and distant from the issue of energy consumption and savings. We insist that this theoretical detour has been necessary in order to seek inspiration for a stubborn research discourse. In this section we will attempt to ground these new perspectives on body and practice in new research questions and policy tracks relevant to transforming energy consumption.

3.1 Bodies as the sites of social reproduction

From our conceptual development of bodies, we can draw some methodological lessons. Not only are bodies irreducible to any simple discipline, they should also be fully present in theorizing any facet of human action. People perceive, remember and act with the full participation of their bodies. Turning things around, bodies are shaped through perception and memory. Perception however should not be reduced to vision and cognition. Current energy policy largely collapses perception into visual and cognitive learning (relative prices, rebates, payback times, colored and numbered energy efficiency rating systems), ignoring the other senses (including proprioception and sensory-motor perceptions) that are involved when a practice is performed. When reading or listening to a paper which aims at theorizing social change, we might ask: where are the bodies in the description? Which qualities or properties are they endowed with? Are they conceived as something malleable or, on the contrary are they treated as being fixed and inertial?

As we developed above, the variability of practices through space and time is evidence of the fact that both societies and individuals change perceptions and memories, both collective and individual. It could be said that the evolution of a culture over time is synonymous with, or at least reflected in the transformation of bodies [12]. From a consumption perspective, the changing body represents the continuity of an individual and the reproductive site of daily life. For each individual body, perceptions and memories evolve through the encounter with miscellaneous situations and the reproduction of some of these situations. Practices change through social relationships, either by imitation or by contrast. Furthermore, perceptions and memories vary from person to person. Bodies with differing cultural and individual histories are able to see, hear, smell, and perceive some details in their surroundings whereas others are not perceived. These capabilities are not only physiological but often result from formal education.

Bodies are the sites of social reproduction because they both experience situations and incorporate past experiences. Practical understanding is the medium through which entities present in a situation are actively linked, drawing on perception and memories of past arrangement. Bodies perform and are performed by practices, and habits are formed through recurrent patterns of action. Whatever they are called — practical understanding, habitus, tacit knowledge, skills, competences — capabilities are embodied through practices. These capabilities both enable and disable change, depending on the situation [34]. Habits are ‘locked into’ bodies through the learning of gestures in interaction with a cultural history and a material environment. “Incorporated material culture reaches deep into the psyche of the subject because it reaches it not through abstract knowledge, but through sensory-motor experience” [6]. Therefore the cognitive digestion of information is not the only cause, or source for the formation of practices.

Acknowledging the importance of practical understanding and cultural learning would have important consequences for energy savings policies. Bodies need to be engaged and people need to be exposed to, or to experiment with new forms of practices (engaging both body and mind) if policy interventions are to be successful in transforming practices. Marres draws attention to two opposite forms for policy intervention regarding material devices such as household appliances. The first, which is dominant in mainstream energy policy ‘aims at the minimization of effort, cost and disruption. It enacts the ‘change of no change’” [35], encouraging the purchase of energy efficient appliances using economic arguments and “small tips” on how to save energy. This strategy of ‘no change’ does not aim at a transformation of practices, habits and bodies, but rather

focuses on the insertion of a more energy efficient device into a given practice. Marres' second strategy, by contrast, aims at transforming the material contributors and creating new perceptions (including the insertion of CO₂ into everyday settings). This change cannot be achieved without a policy goal to reduce consumption and a concerted effort to engage the body in experiments with new practices. In fact, it can be said that a policy intervention is always an experiment of which the outcome is not certain. That does not prevent us, however, from trying to encourage the development of new perceptions and memories. Perceptions are shaped through material arrangements and memories are articulated through narratives. Since as we have argued, agency and memory are distributed, changing mind-sets is not enough. We have to look at how we could produce new material arrangements and new narratives with the purpose of reducing the energy needed to sustain everyday life. We begin with a very sketchy account of the evolution of energy consumption from a body perspective.

3.2 How bodies and consumption are transformed

From an energy consumption point of view, we discern three important dynamics in the transformation of bodies: standardization, extension and delegation (to machines). At the global scale, standardization policies have shaped and transformed perceptions and memories. The evolution of home comfort is a good example of this. Elizabeth Shove has shown how the ASHRAE standards for indoor comfort have had a significant effect on building designs and on the ways that buildings produce heated and cooled indoor climates. These changes have affected the comfort perceptions of the people living in the buildings [36]. Shove and Wilhite demonstrated how several generations of life in air conditioned homes, shopping centers and cars have transformed perceptions and expectations about bodily comfort in the Southern USA [37]. They pointed out that in many southern US cities, sidewalks are being removed because few dare to expose their bodies to the natural elements, preferring to drive from their air conditioned home, in their air conditioned car to their air conditioned place of work, occasionally by way of the local air conditioned shopping center. The transition from lives that involve movement between contrasting climatic spaces, to lives in thermally homogeneous spaces leads to a reconfiguration of the body and its sensations, and even a kind of oblivion of the body. We see the beginnings of this bodily comfort transformation in other parts of the world, as building standards and designs are transformed into those which accommodate air conditioning [38]. Changes affect perceptions of health and wellbeing, the types of clothing worn, and the ways the various rooms in the home are

used. Shove demonstrates similar bodily developments in cooking, cleaning and bathing as homes are configured for modern electric appliances [36]. For example, in the course of one generation, bodily cleaning in Europe has been transformed from weekly bathing to daily showering. Shower gels, hair treatments and deodorants have been added to eliminate smells and add sheen, both of which have become essential elements of the presentation of the clean body. The standardization of comfort and cleanliness norms in the latter 20th century has fixed the achievement of both at high levels of energy intensity. In policy, the improved efficiency of comfort and cleanliness related devices has been encouraged but not changes in bodily perceptions of comfort. The result is that contemporary buildings of all types have been designed and built to provide 22°C year round, whereas people have been reported to be comfortable at a wide range of temperatures, from 6°C to 31°C [36]. Standardization has decreased people's capacity for developing creative strategies to satisfy their own comfort needs. Moving into a dwelling built for air conditioning severely restricts the capacity to achieve cooling comfort using non-mechanical cooling techniques [39]. This form for standardization of bodies and buildings is synonymous with the elimination of contrasts and the weakening of adaptive capacity.

Moving to the second important dynamic of body transformation, Wallenborn's theory of extended body [13] proposes that in modern households, bodily interactions with energy-using artefacts often involve a delegation of enactment from body to artefacts. The extension of bodies through different "prosthesis" (cell phones, computers, cars, heating systems etc.) is a challenge for sustainability. We have replaced unencumbered extended bodies (walking and running) by heavier ones (e.g. bikes by cars). The 'skins' of our homes have been extended and this extension requires more energy for heating and lighting. With electricity we can accomplish many things, some very useful and basic, others more superfluous or even extravagant. When energy consumption is disconnected from the presence of a body through automation it usually leads to waste (lighting, heating, standby). Moreover, we have to remember that energy for these extensions is cheap given the environmental consequences. A human body consumes around 400 to 3000 MJ per year through eating, depending on the sorts of diets and level of physical activity. By contrast, an average Belgian consumes around 100.000 MJ per year for heating, electricity and motor fuel. While the body energy costs the equivalent of 15% of the average Belgian household budget, the delegated energy to heat, electricity and automobility is equivalent to half [40]. Obviously one does not eat petrol or gas and food is a qualitatively different form of energy than a fossil fuel, but this

example illustrates how much added energy we use through the delegation of bodily tasks to engines and appliances, and how little we pay for it.

Through consumption, bodies are not only extended by the so-called ‘end-use’ appliances in our immediate sphere of practices, but further into networks of provision and production [41]. People’s awareness of these extensions and their contributions to consumption are minimal. Automated thermostats are a good example of a near total delegation of knowledge in the production of an energy service. Further, a single individual cannot be actively involved in the production of the objects they use every day, nor in the infrastructures and networks that deliver their components, including energy. Infrastructures delivering energy and water have in fact been built to be invisible and disconnected from use — and ‘in-home displays’ alone will not inspire significant changes in home energy practices [42,43,44]. Some feedback experiments have led to energy savings on the order of 5 to 15%; however, many of these experiments were conducted with small samples of motivated people, giving good reason to question the generalizability and durability of these changes [45].

We can only expect bodily perception to accommodate distant and hidden infrastructures if they become more active aspects of practice. However, urban consumers will not likely become “prosumers” unless they have more to say about how their electricity is produced and delivered. Germany offers an interesting case in prosuming, where municipalities (e.g. Hamburg, Berlin) are reassuming control over distribution grids and co-managing them with citizens [46]. Hielscher et al. provides insights into community-based initiatives that are trying to integrate local renewable energies and low-carbon energy systems into their community practices [47]. These successful grass root actions are characterized by the necessity for dedicating a significant amount of time and for perseverance in order to produce new relations between people and infrastructures. These are examples of the acquisition of bodily knowledge through participation in new consumption experiments. We will develop this point and provide further examples in the next section.

4. Bodies as policy subjects

In this section we briefly analyze how bodies have been treated – or more accurately, absent from treatment - as subjects of energy policy, and how the collapse of bodies into minds impedes the development of policies that encourage experimentation. We contend that experiments

provide the conditions for the formation of new habits, and that policy needs to engage bodies through providing opportunities for encountering and experimenting with new practices.

4.1 Practices change through experiences and experiments

Changing beliefs, attitudes and motivations are important catalysts for individual change, but it is fallacious to assume that a change in practice must be preceded by a change in beliefs or that a change in attitude will necessarily lead to a change in practice. There are numerous empirical studies showing that the greening of attitudes leads to the greening of consumption practices for only a very limited segment of the population [48,49,50]. Furthermore, these changes are usually rather superficial when measured against the planned or anticipated decrease in energy use. This is because green information alone is seldom sufficient to create new perceptions. Many of these attitudinal-based policies rely on visual consumption, which has increasing importance in our relations to the world (through for instance the proliferation of screens and monitors). We capture a lot of information through our eyes: colors, shapes, readings, measures, images, films etc. However, through these visual media we see behaviors but not practices. We see patterns of movements but can only begin to intuit the practices behind them if we engage our memories. Practices involve the whole body with all its senses, including proprioception. Gender studies have understood this and recognized that different bodies feel differently and perform practices in different ways.

Concrete experiences immerse bodies in new perceptions. Significant changes in practice will be more likely to come through participation in practices than by exposure to arguments for or images of new practices. In fact we suggest that participation in new practices can reverse the belief-practice causality. Participation can lead to a body-close understanding and demystification of the consequences (for example that biking in Paris is dangerous) and lead to further experimentation with other low-energy practices. In the exposure to a new action or practice, the body/mind participates, learns and accepts or rejects. Dispositions for action embedded in past experience get reassessed through what Lave calls practical learning [51]. Future actions are then refreshed with new possibilities. The process by which experiences are explicitly and voluntarily transformed into new habits can be called an experiment. To balance the mind-centered, body-absent theoretical approach on which public policies are mainly based, an experimental approach is required. We are not referring to laboratory experiments in which the conditions of everyday life

are approximated and reduced to games, nor are we referring to models in which bodies are replaced by numbers. We refer to experiences in real life in which there is a measure of the outcome and an associated learning process. An experiment is a kind of event: even at a small scale, it brings something new. An event is what makes a difference between past and future in creating new memories or narratives. An experiment involves an effort, notably to extricate oneself from habits, so that a new configuration of the body-environment can happen and create the conditions for the formation of new habits.

4.2 Different kinds of experiments

Experiments are bifurcations in the routine course of actions, and always occur with some effort. There are many different kinds of real life experiences and experiments. They can be classified into unexpected, voluntary, and planned. They can occur at individual or collective levels. They are occasions for new perceptions and the creation of new memories. Involuntary experimentation with energy consumption practices can be initiated by events that are either unplanned or accidental. Power blackouts are an example [52]. Kilpinen has written about how unplanned blackouts in Finland have forced people to find new ways of producing home comfort with little or no energy and how these experiences have resulted in some households changing their lighting and heating practices [53]. Nye shows that blackouts are “collective experiences” that reflect the social conditions of the community: they can be either a moment of joy and solidarity, or the opportunity for riots and plundering [54]. The ‘shocks’ emanating from the oil embargos of the 1970s and the subsequent rationing of oil products including gasoline, provide other examples of involuntary experiments. Transport was severely affected by empty petrol stations and some countries rationed petrol. People were forced to find alternative means of transport. This led to practical experiments by both communities and households. Some of these endured (for example the Bart metro system in San Francisco), and others died out when cheap and abundant petrol was restored (the popularity of small, efficient cars).

Enforced blackouts and complete bans are obviously dramatic (so far) and disruptive, but they give some indications of how experimentation can lead to reassessment and change. The only example of an energy policy intervention of this kind we are familiar with is the Japanese tariff-contract that offers companies a reduced tariff in return for allowing the energy utility to turn off central air conditioning systems at periods of peak load. According to Shove et al., this has led to

extreme discomfort on the part of building residents but has also led to experimentation and change in both conventions and practices regarding workplace clothing and thermostat settings [55]. The longstanding Japanese practice of wearing business suits is being replaced by more casual and lighter clothing amenable to higher indoor temperatures.

In short, though disruptions are often brutal and inconvenient, they bring with them opportunities to explore new bodily configurations. Blackouts are generally transient but they afford ways of experimenting with what we really need and can do without when it comes to electricity consumption. Households experience disruptions with the birth of a child or a move to a new dwelling. Perceptions are refreshed, material settings change and opportunities for new practices develop. In the new setting, walking or biking may be chosen as a means of commuting to work rather than driving, organic foods given priority over ready-made dishes, or new windows or wall insulation installed, all of which are examples of small experiments that have the taste of mini “adventures” and expose bodies to new gestures and perceptions. These may reshape the body and can bring new pleasures with less energy. From a policy perspective these insights offer policy makers “more creative ways to appeal to positive connections between embodied selves and everyday environments to rethink (and reduce) consumption” [56:8].

We have written above that standards reduce human agency and the capacity for experimentation and further, that standardization in domains important to energy use have either encouraged or been indifferent to energy and resource consequences. Given the urgency of reducing climate emissions and the necessity for deep reductions in energy consumption, there are good arguments for policy standardization aimed at reducing consumption (not just reducing energy intensity), thus forcing the creation of new environments to which bodies would be forced to adapt. For example, consumption-reduction standards should replace or supplement efficiency standards for buildings and appliances [57,11]. This reduction-orientation would engender experimentation with new practices at all stages from provision to consumption.

There are softer policy approaches to encouraging experimentation that create potentials for change without regulatory forcing. These involve public support for exposure to new ways of doing things, such as demonstration projects allowing people to observe and experience new technologies and life in low energy houses. Policy support for energy service sharing has shown promise in the domains of cars, laundry services and food preparation. Urban infrastructural changes enable experimentation with alternative transport. There has been a surge in bicycling in

many European cities because of the building of safe and convenient infrastructures for biking, as well as making it possible to combine public transport with biking (on trains, buses and ferries). Many European cities have experienced a surge in bicycling after the building of safe and convenient infrastructures. Copenhagen was one of the early cities to build an extensive bicycle infrastructure. Today, 40% of commuting within Copenhagen is by bicycle. Stockholm has 750 km of bike paths, and Gothenborg 450 km. Paris has built 600 km of bike paths over the past 10 years. San Francisco recently evaluated its plan for making 10% of all trips within the city by bicycle in 2018 and reported that building of safe infrastructure beginning in 2010 had led to a 14% increase in cycling within in a two year period and up to 80% increases in parts of the city that had installed bike-friendly traffic signals (in addition to bike lanes) [58]. Lisbon is a typical example of a place where pessimists predicted that investments in a bicycle infrastructure would be a waste of money and urban space. In fact, in the first half-year after its completion in 2010, there were very few people bicycling. However, as people began to experiment with and experience the use of bicycles for training, commuting and other tasks, the numbers of people bicycling has increased rapidly (www.ecologicalurbanliving.com). In Oklahoma City, where car culture reigns supreme, a successful program for the building of bicycle infrastructure was driven by a weight-reduction campaign initiated by the city government, where the advantages of biking to bodily health were central to the campaign [59].

These are some examples of policy directions that result from a refreshed theoretical platform encompassing body. We admit that these examples are tentative and underdeveloped, ranging into unexplored territory for energy efficiency theorists and policy makers. The point is to initiate new narratives for change and to stimulate policy experimentation in order to refresh stagnated agendas. By interrogating the relationship between bodily knowledge, experimentation and change, we hope to contribute to a critique and assessment of their importance for sustainable energy research and policy.

5. Conclusion

In this paper for the inaugural issue of Energy Research and Social Science, we have endeavoured to develop ideas that might frame new research approaches to the way people consume energy. We suggest the need for new research questions regarding the role of bodies in

consumption and change. For example, we suggest that researchers should address these questions as they shape their inquiry: Are bodies present in your narrative? With which capacities are they endowed?

We have argued that bodies are more malleable than it is usually assumed because material worlds and bodies coevolve. We have put forward the perspective that infrastructures and objects can be regarded as body accessories. These body perspectives suggest a new way at looking at energy consumption. Energy consumption is experienced by bodies in cultural settings and shaped by material environments. Thus embodiment is a spatial and temporal process. Embodied knowledge and skills are shaped conjointly with material spaces. Energy using habits are acquired through the repetition of similar practices. Practices are always performed in the present, though they are disposed to endure into the future. This is because practical understanding is made in situ, in a given practice; therefore it is essentially relational and present. The place where a practice is performed is constituted during the performance. Place and body fashion one another. Energy consumption happens in this place and if performed regularly enough will be durable.

Conceptualizing bodies as repositories of experiences in the form of memory and perception allows us to escape from the model of rationally calculated action that dominates energy policy. However, thinking in terms of practices leads to inconvenient questions. There is virtually no energy-related practice that can be analysed in isolation. Practices are interrelated and coevolving with social norms and material environments: in analysing how energy is used and how energy intensity of practices can be reduced, how do we determine the boundaries on the unit of analysis? And given the urgency of climate change would it not be appropriate to simply redesign technologies and material infrastructures in order to limit material extensions of body?

Getting comfortable with the notion that bodies absorb and exercise knowledge raises questions about the way we frame energy policy. Rather than relying on information directed to disembodied persons, we contend that bodies need to be engaged through experimentation. To prepare experiments, we will have to refresh our narratives and the selection of memories relevant for acting on an earth in severe environmental crisis. It requires a recognition that minds themselves are embodied and that the world consists of a diversity of bodies sharing a finite planet. We are discovering that the ever-growing numbers and kinds of energy using equipment that accessorize bodies in every conceivable sort of task from eating to moving to sheltering have fatal ecological limits. Not only is the health of our environment damaged through this delegation and

extension of body, but so is the health of our bodies. We must apply our collective creativity to find new human-material interfaces and interactions that will lead to improvements in the health of both.

References

- [1] SOVACOO, BK. "What Are We Talking About? Analyzing Fifteen Years of Energy Scholarship and Proposing a Social Science Research Agenda," *Energy Research and Social Science*, 1(1) (in press, 2014).
- [2] STERN, PC. "Individual and Household Interactions with Energy Systems: Toward Integrated Understanding." *Energy Research and Social Science*, 1(1) (in press, 2014).
- [3] WALKER, G. "Temporal Dynamics of Energy Demand: Change, Rhythm and Synchronicity," *Energy Research and Social Science*, 1(1) (in press, 2014).
- [4] MOEZZI, M and JANDA KB. "Redirecting attention to reducing building energy use: from "if only" to social potential," *Energy Research and Social Science*, 1(1) (in press, 2014).
- [5] MAUSS, M. [1935] (1973), "Techniques of the body. Translated from the French by B. Brewster", *Economy and Society*, 2: 70-88.
- [6] WARNIER, J.-P. (2001), "A praxeological approach to subjectivation in a material world", *Journal of Material Culture*, 6(1): 5-24.
- [7] WARNIER, J.-P. (2009), "Technology as efficacious action on objects...and subjects". *Journal of Material Culture*, 14(4): 459-470.
- [8] BOURDIEU, P. (1998), *Practical Reason*. Cambridge: Polity Press.
- [9] BOURDIEU, P. (1977), *Outline of a Theory of Practice*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [10] BERGSON, H. [1896] (1990), *Matter and Memory*, translators N.M. Paul and W.S. Palmer, Zone Books.
- [11] WILHITE, H. (2012), "Towards a better accounting of the roles of body, things and routines in consumption". In A. Warde and D. Southerton (Eds), *The Habits of Consumption*. Helsinki: COLLeGIUM, Studies across Disciplines in the Humanities and Social Sciences 12:87-99.
- [12] WILHITE, H. (2014), "The body in consumption: perspectives from India", in *Consumption: A Multi-disciplinary Point of View*. Oxford: Oxford University Press.
- [13] WALLENBORN, G. (2013), "Extended Bodies and the geometry of practices", in E. Shove & N. Spurling, *Sustainable practices: social theory and climate change*, Routledge [expected: April 2013].
- [14] BUTLER, J. (1990), *Gender Trouble: Feminism and the Subversion of Identity*. New York: Routledge.

- [15] HARAWAY, D. (1985), "A manifesto for cyborgs : science, technology, and socialist feminism in the 1980s". *Socialist Review*, 80, p. 65-107.
- [16] RØPKE, I. (2009), "Theories of practice -- New inspiration for ecological economic studies on consumption." *Ecological Economics*, 68: 2490-2497.
- [17] SPINOZA, B. de [1677] (1901), *The Chief Works of Benedict de Spinoza*, translated from the Latin, with an Introduction by R.H.M. Elwes, vol. 2. Revised edition, George Bell and Sons, London.
- [18] BOLTANSKI, L. (1971), « Les usages sociaux du corps », *Annales. Economies, Sociétés, Civilisation*, 26(1) : 205-233.
- [19] FOUCAULT, M. (1976), *The Birth of the Clinic: an Archaeology of Medical Perception*, London: Tavistock.
- [20] LATOUR, B. (1999), *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*, Cambridge, MA : Harvard University Press.
- [21] KAUFMANN V. (2000), *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.
- [22] GARFINKEL, H. (1967), *Studies in Ethnomethodology*, Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.
- [23] LYNCH, M. (2001), "Ethnomethodology and the logic of practice", in Schatzki, T., K. Knorr-Cetina, K. & E. von Savigny (eds.), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, London, Routledge, p. 140-157.
- [24] SCHATZKI, T. (2001), "Introduction. Practice theory", in Schatzki, T., K. Knorr-Cetina, K. & E. von Savigny (eds.), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, London, Routledge, p. 10-23.
- [25] GIDDENS, A. (1984), *The Constitution of Society*, Polity Press.
- [26] CAMIC, C. (1986), "The matter of habit". *The American Journal of Sociology*, 91(3): 1039-1087.
- [27] HERAN, F. (1987), « La seconde nature de l'habitus. Tradition philosophique et sens commun dans le langage sociologique », *Revue française de sociologie*, 28(3), p. 385-416.
- [28] LAHIRE, B. (2003), "From the habitus to an individual heritage of dispositions. Towards a sociology at the level of the individual". *Poetics*, 31: 329-355.
- [29] DE CERTEAU, M. (1990), *L'invention du quotidien, vol. 1: Arts de faire*, Paris: Gallimard.
- [30] THÉVENOT, L. (2001), "Pragmatic regimes governing the engagement with the world", in Schatzki, T., K. Knorr-Cetina, K. & E. von Savigny (eds.), *The Practice Turn in Contemporary Theory*, London, Routledge, p. 56-73.
- [31] PICKERING, A. (1995), *The Mangle of practice*, University of Chicago Press, Chicago.
- [32] VON UEXKÜLL, J. [1934] (1957), *A Stroll Through the Worlds of Animals and Men: A Picture Book of Invisible Worlds, Instinctive Behavior: The Development of a Modern Concept*, ed. and trans. Claire H. Schiller , New York: International Universities Press, Inc., p. 5-80.

- [33] COLLINS H. (2010), *Tacit and Explicit Knowledge*, Chicago University Press.
- [34] WARDE, A. and SOUTHERTON, D. (2012), "The Habits of Consumption". Helsinki: COLLeGIUM, Studies across Disciplines in the Humanities and Social Sciences, 12: 87-99.
- [35] MARRES, N. (2012), *Material Participation: Technology, the Environment and Everyday Publics*, Basingstoke:,Palgrave MacMillan.
- [36] SHOVE, E. (2003), *Comfort, cleanliness and convenience: the social organization of normality*, Oxford, Berg.
- [37] SHOVE, E. and WILHITE H. (1999), *Energy Policy: What it forgot and what it might yet recognize*. Proceedings from the ECEEE 1999 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Paris: European Council for an Energy Efficient Economy.
- [38] WILHITE, H. (2008), *Consumption and the Transformation of Everyday Life: A View from South India*. Basingstroke and New York: Palgrave Macmillan.
- [39] WILHITE, H. (2009), "The Conditioning of comfort." *Building Research & Information*, 37(1): 84-88.
- [40] WALLENBORN, G., NEMOZ S., COUDER J., VERBRUGGEN A., VANHAVERBEKE J., MARENNE Y., BOULANGER P.-M. (2013), *HECoRE. Household Energy Consumption and Rebound Effect*, Final Report, Belgian Science Policy Office.
- [41] SOUTHERTON, D., CHAPPELLE, H. and VAN VLIET, B. (2004), *Sustainable Consumption: The Implications of Changing Infrastructures of Provision*. Cornwall: EPG Books Limited.
- [42] HARGREAVES, T., NYE M. & BURGESS J. (2010), "Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors", *Energy Policy*, 38: 6111-6119.
- [43] STRENGERS Y. (2011), "Negotiating everyday life: The role of energy and water consumption feedback". *Journal of Consumer Culture*, 11(3): 319-338.
- [44] WALLENBORN, G., ORSINI M. & VANHAVERBEKE J. (2011), "Household appropriation of electricity monitors", *Journal of Consumer Studies*, 35 : 146-152.
- [45] KLOPFERT, F. & WALLENBORN G. (2011), *Empowering consumers through smart metering, a report for the BEUC*, the European Consumer Organisation.
- [46] HOCKENOS, P. (2012), "Germany's Little Energy Co-ops Make a Big Splash", *European Energy Review*, 17/12/2012.
- [47] HIELSCHER, S., SEYFANG G. & SMITH A. (2011), *Community Innovation for Sustainable Energy*, CSERGE Working Paper 2011-03.
- [48] ABRAHAMSE, W., STEG L., VLEK C., ROTHENGATTER T. (2005), "A review of intervention studies aimed at household energy conservation", *Journal of Environmental Psychology*, 25 : 273-291.

- [49] JENSEN, J. (2008), “Measuring consumption in households: Interpretations and strategies”, *Ecological Economics*, 68 : 353-361.
- [50] EK, K., SÖDERHOLM P. (2010), “The devil is in the details: Household electricity saving behavior and the role of information”, *Energy Policy*, 38 : 1578–1587.
- [51] LAVE, J. (1991), “Situated learning in communities of practice”. In Lauren Resnick, John M. Levine, and Stephanie Teasley (Eds), *Perspectives on Socially Shared Cognition*. Washington D.C.: American Psychological Association.
- [52] PASQUIER, S. (2011), *Saving electricity in a hurry*, Information Paper of the International Energy Agency.
- [53] KILPINEN, E. (2012), “Human beings as creatures of habit”. Paper presented at the Conference Social Science and Sustainable Consumption, Helsinki Collegium for Advanced Studies, University of Helsinki, April.
- [54] NYE, D. (2010), *When the lights went out. A history of blackouts in America*, MIT Press.
- [55] SHOVE, E., PANTZAR, M. and WATSON, M. (2012), *The Dynamics of Social Practice*. London: Sage.
- [56] LANE, R., GORMAN-MURRAY A. (2011), *Material geographies of household sustainability*, Farnham: Ashgate.
- [57] CALWELL C. (2010), *Is efficient sufficient? The case for shifting our emphasis in energy specifications to progressive efficiency and sufficiency*. Report prepared for the ECEEE.
- [58] CABANATUAN, M. (2013), “Cycling surges on S. F. Streets”. *San Francisco Chronicle*, December 13, p. 1.
- [59] SAHAKIAN, M. and WILHITE H. (2014), “Making practice theory practicable: towards more sustainable forms of consumption”. *Journal of Consumer Culture*. (to be published in the March issue)

[7] Extended bodies and the geometry of practices. The unsustainable extension of our bodies

in *Sustainable practice: social theory and climate change*, Elizabeth Shove and Nicola Spurling (eds.), Routledge, 2013, pp. 146-164.

1. Introduction

Late at night, after a ‘glass of hot whisky and water’, as he wrote, Samuel Butler sometimes ventured to speculate about the co-evolution of humanity and technology, the very process of humanisation. In the process of evolution, the human

learnt how he could, of his own forethought, add extra-corporaneous limbs to the members of his body and become not only a vertebrate mammal, but a vertebrate machinate mammal into the bargain. [...] The mind grew because the body grew - more things were perceived - more things were handled, and being handled became familiar. But this came about chiefly because there was a hand to handle with; without the hand there would be no handling; and no method of holding and examining is comparable to the human hand. [...] Were it not for this constant change in our physical powers, which our mechanical limbs have brought about, man would have long since apparently attained his limit of possibility; he would be a creature of as much fixity as the ants and bees. [...] Machines] are to be regarded as the mode of development by which human organism is most especially advancing, and every fresh invention is to be considered as an additional member of the resources of the human body. (Butler 1912: online)

Butler goes further than Benjamin Franklin who defined man as a ‘toolmaking animal’. Being interested in the theory of evolution and in the development of machines in his century, Butler reflects on the organic growth of appliances and formulates a more radical proposition: becoming human depends on the creation of new unities of limbs and organs. Since this creation seems to be additive and endless, the search for sustainability is, in effect, a search for means of limiting these extensions.

Butler states that a human is defined by the possession of a series of mechanical limbs and organs (clothes, javelin, umbrella, watch, knife, pencil, book, spectacles, etc.), and by the forms of organisation he can achieve with these prostheses. Butler thinks that each generation inherits prostheses preserved by natural selection, although he does not explain how selection happens.

From the perspective of material culture, humanity evolves through the creation and reproduction of objects, tools and machines. Evolution is here taken in its broadest sense to refer to a continuous process of transformation. If it is possible to identify initial and final states (even arbitrarily), the process of change can be analysed in static terms: what has been transformed and what has remained constant? However, the real interest is in understanding the dynamic processes through which this transformation occurs.

Basalla (1988) explains the diversity of artefacts around us today in terms of technological evolution, arguing that fire, flint, animals, wheels, printing, steam and electricity have been added progressively to human practices. The hammer and the pin are positioned alongside the Internet and the nuclear power station. In this narrative, substitution and addition both occur such that technological evolution is viewed as a cumulative process happening in an ‘environment’ populated by selecting agents that can be described in different terms: sociocultural, economic, military, psychological, etc. Patterns of technological evolution do not follow the well-ordered tree of the evolution of living beings.¹ Instead, different branches of technology are hybridised and yield new objects, for instance, as achieved through the conjunction of fire and water in the steam engine (Gras 2007).

The evolution of humanity is inseparable from the development of technology in that the extension of the body is at the core of what constitutes human beings as human. Material artefacts are integrated into human practices as soon as this process starts, meaning that our bodies have been extended to include new organs for billions of years. To reiterate, human practices always involve a body, more or less extended. Accordingly, humanity and materiality cannot be detached. However, bodily extension has become never-ending through various phases of industrial development. This is not a seamless process. The speciation of humanity, Butler continues, takes different forms amongst the rich and the poor. The rich person

alone possesses the full complement of limbs who stands at the summit of opulence, and we may assert with strictly scientific accuracy that the Rothschilds are the most astonishing organisms that the world has ever yet seen. For to the nerves or tissues, or whatever it be that answers to the helm of a rich man’s desires, there is a whole army of limbs seen and unseen attachable: he may be reckoned by his horse-power – by the number of foot-pounds which he has money enough to set in motion. (Butler 1912: online)

¹ Gould (1989) sees the pattern of evolution more in the form of a bush than a tree: the history of life is not determined. There is no royal road towards even more complexity. Gould and Basalla share the view other histories could have been possible.

Butler asserts that the difference between men lies in the organisation and extension of their limbs. Since the potential for extension is seemingly limitless – even the sky is no longer the limit since the very rich can now afford space travel – the problem of sustainability is one of mastering this will or drive to extend.

It is well known that humanity has a problem of development. It is less common to view this as a problem of how extended bodies have evolved. For instance, if we compare cars and bicycles, we can assert that the former exhibits a kind of exoskeleton, whereas the latter has something like an endoskeleton. This is evident in how human bodies interact with objects: the object either envelops the human body (like a car) or is taken as an inner frame (like a bicycle). In both cases the object can be regarded as an extension of the human body. The object is displaced and animated with and by a human body equipped with skills acquired through a more or less extensive period of learning. The coordination of movements and the organisation of perception consequently depend on both body and object, as a single assemblage. In the enactment of practices, perceptions are extended in different ways depending on the character of this assemblage. This is something that any cyclist knows and that the slightest tap on a moving car would show.

While the history of evolution shows the advantage of endoskeletons (vertebrates) over exoskeletons (invertebrates), humans have followed the reverse path during the last century. As car drivers, they shoulder hefty endoskeletons, 20 to 50 times heavier than the on-board human body. This is an admittedly extreme example, but one that illustrates the significance of bodily extension for sustainability. If individuals strive to ‘possess the full complement’ of their bodies, as Butler puts it, consumption patterns are clearly unsustainable: long before every body has achieved his or her full complement (which is always historically determined), the necessary stock of natural resources would have been depleted. The sustainability issue can be summed up as the following: flows of matter must decrease, some much more so than others. We know we have to be thrifty in our use of resources, and we know that the ‘full’ extension of some 20% of contemporary human bodies already exceeds these limits. When extended bodies are too large or too resource-intensive, the ‘footprint’ or ‘body print’ of the practices they enact becomes unsustainable. If the extension of bodies is an unavoidable process, human history will come to an end. This is not the only possible path, and in analysing social practice in terms of extended bodies one aim is to produce an account that is useful in helping to escape this fate. Such a description needs to show how new and

different assemblages might be formed and how what we might think of as 'lighter' bodies could be constituted.

Extended bodies are very complex conjunctions: they include hard and soft organs; endo- and exoskeletons; specialised organs, skins and interfaces that together create layers of inner-ness and an outer-ness. The envelope of a body is its skin, and this is also true for an extended body. The skin of a body is more or less permeable, with holes enabling communication and different flows to come in and out. The same goes for a building in which the walls as well as the inner atmosphere create what is in effect an extended skin. Machines, infrastructure and networks (energies, water, communications, etc.) must also be included in the description of extended bodies, as well as the matters that flow through these channels. The use of others, of nature, of space and of time pertains to the constitution and definition of extended bodies. From this perspective it is not easy to see where the margins of an extended body lie. This, then, is a topic to which a description of extended bodies must attend.

In this chapter my aim is to explore the link between practice and sustainability and to do so by describing practice geometries as the practice-based extension of our bodies. I suggest that understanding the transformation of these geometries could help in determining which extensions are problematic and which are not. In taking this approach I explore the idea that the unit of evolution is not the individual body, but practices that correspond to different extended bodies. As indicated above, a practice perspective combined with a body-centred analysis resolves the sustainability issue into an issue concerning the limits of bodily extension. Can we develop a theory of the evolution of extended bodies that is useful in identifying methods of redirecting or even transforming the trend towards yet more extensive extension?

In the next section I make a start by suggesting that the enactment of a practice is the performance of an extended body. Whereas practice theory tends to take the soft body of a person as the point of reference, treating people as the agents of integration, I start with a principle of symmetry that position all bodies (human and non humans) on the same plane. I show that an analysis of extended bodies corresponds to an analysis of the material elements of practice, and confirm that practices are intrinsically social. Further ideas about the performance of the extended body are developed with reference to different concepts and authors. In the third section I classify extended bodies in relation to five topographies: skins, fluxes, animals, plants and other human beings. These topographies describe the ways in which bodies are extended and then define the

geometry of a practice as the singular intertwining of such topographies. In the fifth section, three problems are identified: where is the subject and where are matters of action and morality located in this analysis, and to what extent is extension ‘automatic’? In section six, bodily extension is explained as an outcome of three possible processes: hybridisation, succession and delegation. I conclude with a discussion of how we might take better care of our extended bodies.

2. Practice as the performance of an extended body

Reckwitz defines practice as ‘the regular, skilful “performance” of (human) bodies’ (2002: 251). In this account, bodily activities enable the emergence of coordinated entities that include routinized mental and emotional activities, objects and knowledge. The practice as an entity ties these heterogeneous elements together. In order to explore the relations that constitute a practice, or an extended body, I will start from a principle of symmetry, describing connections between heterogeneous elements before exploring the variability of the ‘extended body’ concept and considering the type of philosophy to which these ideas are related.

It is not quite right to equate a practice with an extended body in that extended bodies are inherently dynamic, always living and always changing. It is therefore more accurate to say that the enactment of a practice is the performance of an extended body. The performance of a practice can therefore be understood as an identifiable configuration in the flux of individuals’ relations with each other (e.g. when two persons speak to each other). A practice always involves an ‘equipped body’, because such a configuration always includes materials beyond the naked body. Schatzki (1996) describes practices in terms of intention or teleo-affective structure, but materials do not figure in this part of his analysis. By contrast, my reference to the extended body highlights the material elements of practice. The heterogeneous elements of the extended body are actively linked together in a practice. In other words, an extended body is an assemblage that ‘functions’ on a more or less regular basis. What can we learn by identifying the performance of a practice with the functioning of a unique and singular extended body?

One feature of such an approach is that it establishes practices and extended bodies as inescapably social: they are so in that extended bodies encompass objects (themselves the condensation of multiple social relations) and other people. The body is social in the sense that it is an ‘association of humans and non humans’ (Latour 1999: 286). In addition, a practice (as entity)

can never be individual since it entails a large number of repetitions by a large number of people. From the extended body perspective the performance of a practice – bodily activity – is conceived of as an emergent property: it is the visible face of a practice as entity. ‘Bodily activity is the appearance of mind, and mind is the expressed of bodily activity’ (Schatzki 1996: 54). Behaviour, defined as observable action, emerges from the performance of a practice, that is, from the active linkage of heterogeneous elements. Behaviour is a popular concept, partly because of its visibility (or perceptibility). For example, changes in movement can be seen and detected. However, we need to go beyond these outward manifestations if we are to grasp and characterise the distribution of differences and similarities in practice. Looking at observable bodily activity is insufficient if we are to understand the evolution of extended bodies. Looking at an extended body is, in effect, a means of looking at how the different components of this body move and are articulated together with the settings and networks that are also part of it.

The material aspect is evident from the start in that an extended body consists of an integration of human bodies, objects, and specific elements of the setting. The biker combines with the bike, and the road itself is part of the functioning of the extended body. The biker and the path can have variable geometries since they have to be compatible. The racing bicycle needs a smooth road, whereas the mountain bike is adapted to muddy paths. As this example suggests there is some kind of mutual selection between the different elements of the extended body. Furthermore the extended body is not just a combination of solid elements as a mechanism might be. The place of the human body and the nature of its extension are rarely that clear.

The extension of the body depends on what is considered as belonging to the body, and different points of view are possible. While some think of humans as toolmakers, capable of creating new limbs and organs, others view the extended body in less mechanical terms: for example, writing about sociotechnical hybrids, cyborgs, desiring machines and the organisation of fluxes. In such accounts, material evolution proceeds through the hybridization of natural and cultural elements, new combinations of which emerge from a tension between innovation and habit. It is useful to review some of the ways in which extended bodies have been conceived.

The long introductory quotation from Butler resonates curiously well with Spinoza:

no one has hitherto laid down the limits to the powers of the body, that is, no one has as yet been taught by experience what the body can accomplish solely by the laws of nature, in so far as she is regarded as extension. (Spinoza, Ethics III, prop. 2: online)

Spinoza escapes the Cartesian mind/body dualism by arguing that body and mind are not two separated entities, but two modes (or points of view) of the same phenomenon. This implies that the mind is extended in parallel to the body and is distributed in the body, much in the way that intelligence is distributed between different coordinated agents.

Also designed to counter mind/body dualism, cyborgs and desiring machines have been conceived of and introduced initially as a means of escaping the tendency to naturalise feminine/masculine features and anchor them in biological bodies (Haraway 1991). However, the cyborg is more than a feminist weapon; as a hybrid machine/organism it is a compound of human, animal and electronic elements.

The machine is not an it to be animated, worshipped, and dominated. The machine is us, our processes, an aspect of our embodiment. We can be responsible for machines; they do not dominate or threaten us. We are responsible for boundaries; we are they. (Haraway 1990: 180)

The figure of the cyborg includes all possible extended bodies. As such, any extended body is an actualisation of a cyborg. A practice is, then, a transient cyborg, the limits and geometry of which are constantly changing as objects and organs are re-distributed in specific ways in relation to a given situation. The objects included in an extended body help specify the practice but do not determine it: for example, the same object - a knife or a computer - can sometimes be used to perform different practices.

In writing about 'desiring-machines', Deleuze and Guattari (1983) also go beyond the idea of the tool as a mechanical extension of the body. The deleuzo-guattarian machine is a bricolage that works with, and assembles, heterogeneous elements. The functioning of this desiring-machine is similar to the performance of an extended body, but in this case there is a clear emphasis on experimentation. The desiring-machine is a nexus of different parts, again including human, animal, plant, land, tool and machine. However, the result is not a pre-established 'structure': instead the extended body is continually organising itself, linking and de-linking multiple elements but never achieving any lasting unity. The concept of desiring machine emphasises this vital aspect of ongoing production. As it proceeds the machine undoes and redoes itself, stops, goes, and tinkers with its own extension. The desire is that which 'machines' the heterogeneous elements involved in this unfolding process. Accordingly, desire is a material process that produces reality. The desire is immanent to the machine, and desiring-machines constitute the fabric of social practices.

Linking the idea of an extended body to that of a desiring-machine underlines the experimental aspect of practice: bodily extensions are not made in order to supply a deficient organism with new limbs, but to create new situations and engender a new extended body (Raunig 2010). In being extended, the material parts enable the functioning of this new body. At the same time, it is this functioning that unites the multiple elements, forming a transient entity which is the locus of doing and meaning.

Bennett (2010) develops another way of seeing extended bodies, doing so with explicitly ecological and sustainable aims in mind. Bennett's opening proposition is that matter is not only solid; it is also fluid, energetic, vibrant and evanescent. Extended bodies are consequently constituted through flows including those of air, light, drinks, food, electricity, waves, energy, signs, etc. As such they figure as agentic assemblages of microbes, animals, plants, metals, chemicals, word-sounds and the like. Bennett's 'heterogeneous monism of vibrant bodies' draws on diverse philosophical resources: Spinoza's *natura naturans*, Nietzsche's world of energetic flows, Deleuze and Guattari's vibratory cosmos, Bergson's creative evolution and Michel Serres' vortices and eddies. This account makes much of the fact that humans are made of non human bodies and that the way matter is distributed through an extended body should not be taken for granted. A key insight is that networks (such as roads, electricity and water supply systems) are constitutive parts of extended bodies.

Winance's (2006) discussion of wheelchairs echoes many of the points made above. Again the claim is that the wheelchair actively fabricates a new person, forming a new assemblage of human and non human entities. Winance uses the idea of the extended body to describe the abilities and disabilities of the new collective made of a paraplegic, a specific wheelchair and the disposition of things, including the hands of other humans. The further point is that in so far as wheelchairs enable and prevent movement in specific places (kitchen, car, lift), this equipment makes its own world. These relations are such that there are many different wheelchairs, and just as many corresponding worlds. Winance shows that this kind of world-making is the result of a long process of negotiation between a human body, emotional activities, objects and others. The process of appropriating a new prosthesis is thus one involving the reciprocal domestication and realignment of different parts of the extended body.

To sum up, the extended body approach is consistent with a view of practice as a process in which heterogeneous elements are of actively integrated and in which the distinction between

object and subject is blurred. This approach draws inspiration from those forms of philosophy that challenge dualism in all its form: mind/body, symbolic/material, culture/nature, human/non human, individual/totally (Schatzki 1996). As the extended body is neither structure nor habitus (mental disposition), further understanding depends on concepts that are not substantialist, but that refer to relations and processes. Each philosophy is sustained by an ontology that specifies the types of 'being' taken into account. In practice theory, the beings – the extended bodies – under scrutiny should be thought of in dynamic terms: they are as changing as the practices themselves.

This line of thought is not without its problems. For example, where does intention lie, and does the human body have a special place within the extended form? Before tackling some of these issues, I want to show that extended bodies can be analytically separated and discussed with reference to five different 'topographies'. This analysis will help in describing the geometry of a practice and in better understanding what more sustainable extended bodies might look like.

3. Topographies of extended bodies

Any given practice is unique if it is described in detail. And so is an extended body: one is always slightly different from another. However, extended bodies can and should be classified so that they can be identified, described and thought about. One method of classifying extended bodies would be to distinguish between the different functions of the material elements, for example treating each as if it were an organ contributing to the operation of the whole. However, this rather 'functional' view is of limited value in capturing the dynamic relation between the different parts and in describing the changing margins of the extended body. Since a good description should be able to characterise types of extension my aim is to classify extended bodies in terms of their configuration or geometry.

Here geometry is understood in contrast to arithmetic. Statistics, an elaborated version of arithmetic, deals in countable objects and consequently treats individuals as bounded entities. By contrast geometry is related to topology, morphology, relationships and intensities. Geometry emphasises features of spatial and material extension. The geometry of an extended body is what makes it recognisable (a mobile phone cannot be understood without the networks that feed it). From this point of view, practices have different shapes or geometries. Exercises like those of

calculating carbon footprints depend on the Cartesian reduction of geometry to arithmetic, a necessary step for those interested in counting and comparing numbers.

Geometry can be used to describe the configuration of an extended body and its corresponding practice. It can also be used to discern and characterise the different *topographies* in a practice, namely the different types of *places* (topoi) in which a body is extended. Topographies are regular patterns that can be observed in social practices. Literally topography delineates the outlines of practice/body extensions in different domains. These multiple topographies can be analytically superimposed and combined to produce a composite portrait of practice geometry. In reality, a practice geometry consists of a dynamic amalgamation of topographies that are inseparably intertwined. Even so, it is useful to distinguish between topographical types as means of identifying the different ways in which geometries extend. The following paragraphs describe five such types – skins, fluxes, animals, plants and other humans - and show how these combine in shaping practice geometries.

Skins mark and create the difference between an outside and an inside, this being a climate or ambience within which the extended body acts. From clothes to homes and from caves to skyscrapers, skins have continuously evolved. Skins provide protection from outside ‘threats’ and determine what can or cannot enter the extended body. Skins have holes of different sizes that allow different fluxes to come in and out. In this context, keys are special devices that distribute skins and bodies, and membranes are filtering boundaries.

The second topography, flux, is the complement of skin and boundary making. It is grounded in the Heraclitean view of nature as a flux (Nietschze) or as a viscous flow (Serres). In thermodynamic terms, the human body is an open system, a permanent restoration of atomic assemblages, a dissipative structure constituted by flows of matter, energy and signs as well as by food, water, air, light, excreta, words etc. To this the extended body adds further networks of provision: electricity, water, telecom, roads, etc. In other words, the extended body has different dimensions of flux, along with associated milieus including electromagnetic fields, electrical networks, roads and service stations, sanitation ducts, and so on (Simondon 1980). The fact that water is heated to body temperature before showering shows that the shower water belongs to the extended body. The water that drains from the shower tray is, in turn, an outcome of the extended body. Just as the human body is constituted of material flows, so the extended body is formed of the different fluxes which feed it. The skin preserves the margins of the body (it keeps our insides

in) but allows aspects of the extended body to flow through. The limits of an extended body are therefore fuzzy. In what sense can we say that an external flux belongs to an extended body? The incorporation of a flux is an event: it might not have happened, but once it has, the effect is to reconfigure the extended body. This suggests that we should think of the appropriation of fluxes as a process of incorporation by the extended body. In this sense, the road comes through the driven car considered as an extended body. Fluxes are realised – and real in their effects – when they connect with each other and combine in (re-)making extended bodies.

The third topography, termed the animal body, is a mobile entity: it has a relatively defined shape and can move without being dismantled. The animal body is usually extended through tools, instruments and machines. Many tools are, for instance, extensions of the hand. Instruments change what can be sensed and done and so change the ‘scope’ of a practice. A machine comprises a source of power, either internal or external. This can come from the human body, as with a bicycle, or from some external source like a domesticated animal or an engine. A rider with a suitably equipped horse forms a remarkable extended animal body.² Anything that can be considered ‘on board equipment’ is part of the animal body.

In contrast to animals, which can move, plants are living beings that have a fixed location (Hallé 2002). This implies a different logic of extension. Plants cannot travel but they are interconnected through chemical signals, by their roots or by third parties like mushroom mycelium. Complementarity and symbiosis are features of this, the vegetal world. Whereas animals extend with the aid of prostheses, plants do so through grafting and hybridization. With plants, the notion of individuality is distinctly unclear. Is a swathe of grass a unique being or a multitude of separate blades? Due to the rhizomatic connections involved this is not an easy question to answer. Similarly, the descendants of a plant cutting have the same genetic material as their parent, but do they also have an identity of their own?³ As these comments suggest, individuality is an animal notion, based on the potential for movement. The vegetal body extends through connections to other bodies. In this regard, information and communication technologies help us become more vegetal. Typical vegetal extensions of the human body work through the fingers, for example, through the operation of phones and computers. As in a nervous system, these local interactions

² Following the symmetry principle, the reverse is also true: while performing, the horse is equipped with a human.

³ The propagation of practices, for example, through hybridisation, is closer to plant than to animal forms of reproduction.

connect with distant points, linked through multiple networks. A yell or a pheromone release, for example, is a burst of signs as long as there is a detector in place to receive and interpret. In a nutshell, the vegetal topography describes the web of interactions that tie an extended body into its associated milieu.

The fifth and last topography is probably the most difficult to describe in detail because it involves several human bodies. Up to now I have considered practices that involve only one human body. However, when other humans are involved in the same practice, for example, in dancing, chatting, sporting, loving or playing, it is possible to have different accounts of the same extended-body performance. In such situations, much depends on the *point of view*. In football, as in any other collective game, there are several points of view. From a player's perspective, the whole game is a 'body' incorporating the ball and all the other players (including the referee) defined by strict spatial limits and rules. If asked, each player would probably provide a different account of how his or her 'own' body was extended during the match. At the same time, this whole extended body, composed of multiple people running, becomes a single entity when unified by an external point of view, such as that of a spectator. The agency of a multiple-human-body is particularly complex since actions and signs from any one component human body are constantly interpreted by the other human bodies involved. Agents anticipate what the other(s) will do and say, and the capacity to adopt another's point of view, complicates internal relationships within the extended body. Another issue with the multiple-human-body is its variable relation to other topographies. Multiple bodies can share a common skin, for instance if all inhabit the same building. Fluxes are also variably shared. In addition, asymmetric situations frequently arise: for example, a car driver and passenger have different animal and vegetal topographies, but share a common skin.

4. Practice geometry as the intertwining of different topographies

It is possible to make analytic distinctions between these five topographies but in reality, they are intertwined in practice. The analysis sketched above is nonetheless useful in that it allows us to consider forms of addition and superimposition that occur within extended bodies. For instance, mobile appliances (cellular or computer wireless) are hybrids of animal and vegetal topographies. Embedded electronics combined with networks enable a connection between the rhizomatic and the animal body. Phoning or using the Internet exemplify rhizomatic modes of existence, but when

the equipment is carried ‘on board’ the extended body is hybridised. This hybridisation is recent since it requires an associated electromagnetic milieu into which ready-made detectors can ‘plug’ almost anywhere (this has been the case for some time, as with transistor radios) and into which emitters can connect (this needs a dense grid of antenna). Electronics opens up a wide range of new possibilities and could increase the integration of vegetal and animal parts, perhaps in the form of new cyborg configurations. These might involve new holes in the skins of extended bodies, new sensors might permit new ways of regulating and perhaps intensifying interactions with other extended bodies and the combined result might be heavier or lighter animal bodies that require more or less resource use and that produce different fluxes of material and electromagnetic pollution.

In thinking about how topographies intersect it is important to think about the extent and definition of an extended body. Machines are a special case of an extended body in that some can work without a human body providing there is an external source of power. Consider the example of a home. From the outside, the extended body is characterised by a skin (the walls) and different incoming and outgoing fluxes. But from the inside, the home is more like a machine of machines. The intensity of relations between these machines depends, to some extent, on the degree to which the skin of the home is permeable. At first sight, an inhabited off-grid canal boat is a good example of an animal extended body. It is a movable entity but one that contains a number of inner machines. The fact of being off grid means that these inner machines need to be carefully coordinated: there is a delicate, vegetal, symbiosis between the different parts of this extended body. Since resources are necessarily limited within this self-contained entity special attention has to be paid to fluxes (to fluids and to power for instance provided by solar panels or a small wind turbine). In situations like these the different topographies are very densely interwoven.

The five topographies do not have an hierarchical order, thus the rational or the animal are not in some sense above the vegetative as is the case in an Aristotelian view. Instead, each topography relates to a different characteristic of the extended body. The geometry of a practice is the assemblage of these different topographies but there is no ‘pure’ geometry in the sense that an extended body might be described in terms of a single topography. Skin and fluxes are always involved, and can be more or less extended – these concepts relate to margins and flows. And animal and vegetal topographies characterise the active functioning of heterogeneous parts and their relation to the environment – what I term a regime of action. For example, the animal body

concept describes solid parts and the relation between them (in terms of distance, speed etc.) By contrast the vegetal body concept describes interaction with different milieu, linked through fluids and interpretations of signs. These animal and vegetal forms relate to skin and flux in characteristically different ways. Skins indicate the margins (the inside and the outside) of the animal body and are a necessary but not sufficient condition of its mobility. Although vegetal bodies have skins, these are often harder to detect. Whereas skins separate animal bodies from their environment, skins connect plant bodies to their milieu. The body is at first sight identified by its skin whereas fluxes show how the body evolves and is linked to its environment. Fluxes of matter are therefore more closely linked to vegetal bodies in as much as fluxes have a fluid feature. In this sense, flux and vegetal topographies are two sides of the same process: the fixed body captures, assimilates and expels fluxes of matter, energy and signs whereas the rhizomes and branches carry and organise these fluxes within and between associated milieus.

The topography including other human beings implies a third regime of action in addition to the animal and vegetal forms described above. This regime is based on the interaction between entities that have their own bodies, skills and meanings, aspects of which are more or less shared within the extended body.

To sum up, I suggest that all practices could be considered and analysed as combinations of these five topographies. The example of cooking – reaching for ingredients, combining and heating them in a pan, using first a knife, then a spoon, etc. – shows that while the topographies do not vary, the geometry of the practice changes continuously as it is being performed. Taking a longer term view, it might be possible to represent the history of a practice (e.g. breakfast) as the evolution of the geometries or topographies involved.

5. Subjects, agency and habits

If these ideas are to be plausible we need to explain how bodily extension occurs. For this purpose, I need to answer three questions. 1) If a subject experiences a succession of extended bodies, how can I say that it is still the same subject? 2) How is the agency of an extended body characterised? 3) To what degree is the extension automatic? As we shall see these questions are entangled.

Extended bodies are transient assemblages that are also meaningful units of practice. It is in these transitory configurations of human bodies and objects that human life is experienced. The extended body is a living body. This living body has at least two relatively enduring characteristics: a human body and a memory. All human bodies decay but what of extended bodies, do they also age? We can here distinguish between the ontogenesis and the phylogenesis of the extended body. Ontogenesis implies that a human practice always involves a body, more or less extended and, conversely, that a human body is (almost) always equipped. Phylogenesis represents human evolution as the creation of new unities of limbs and organs. At the human scale phylogenesis is the development and specialisation of practices, whereas ontogenesis represents the more stable history of our innate corporal and cognitive capacities. Although the parts of extended bodies progressively deteriorate, the extended body as a practice does not. Practices are not worked by time in the same way as human bodies: they are reproduced through imitation and through the evolution of identifiable configurations.

If practices are the meaningful units of life, it makes sense to conceive of the subject as the passage of successive extended bodies. The identity of the subject is produced and reproduced in and through practices. But in this case, where are the persons morally responsible for their actions and able to relate to others? As morality is a modality of action, we have to turn to the notion of agency if we are to address this question.

Latour argues that agency is distributed between humans and non humans (Latour 1999). How does this distribution happen in an extended body? From the perspective of an extended body, agency is immediately material; teleoaffective, understandable and rule governed. However, activity and thought are distributed along the articulations and fluxes of the extended body. The mind is, for instance, distributed in the extended body in that intelligence can be distributed between different coordinated agents. In the vegetal regime of action, agency lies in the connection of the body to its environment: actions and flows are channelled and perceptions stretch across the entire extended body. Nevertheless perception depends on the point of view: some organs are more obvious than others. Since the practice is the actualisation of an extended body, the question of agency is transformed into one that has to do with the composition and coordination of that body. The agency of the extended body depends, in turn, on how relevant topographies are articulated, and on how objects are incorporated. The agency of a practice consequently lies in the articulation of the heterogeneous parts of the extended body.

Besides having a body, the human subject is also characterised by a memory and the ability to recount one's life. Just as agency is distributed, so the memory of a practice is distributed among the different parts of the extended body. When an extended body is re-enacted, its memory is recovered. 'Sleeping organs' can be reactivated when memory re-connects these elements. To the extent that an extended body exists as a singular, one-off experience (a moment in a practice), vitality is distributed through matter and objects. The process of life consequently consists of ongoing experimentation with and through a stream of new extended bodies. Like agency, morality is distributed and delegated to the different components of the extended body (Latour 1999). But that does not override the point that the human subject has the capacity to partially guide such experiments, and to configure new extended body arrangements or repeat stabilised assemblages.

Understanding the formation of habit is important because many practices are performed in a regular, semi-automatic, way. Practices emerge and replicate themselves in different spatiotemporal frames. Domestic and daily practices are, for example, characterised by a high degree of repetition involving the same body configurations. The persistence of relevant aspects of the extended body, and of its related geometries is critical, but this is not enough to ensure that practices are recurrently propagated. Tacit knowledge is an essential component of the extended body, and can only be transmitted through imitation. As such it depends on the coexistence of other human bodies (Collins 1974). A technology always involves a 'body technique' which is learned through the repetitive performance of that technology. To illustrate this point I recently experimented with a new extended body that challenged my previously embodied habits. This involved trying to steer a tricycle with my feet while pedalling with those same feet. After two hours, I was not yet sure how I should command my extended body but by the next day my skills were much improved. This kind of learning process, or embodiment of a new practice, is well known. The body technique creates and stabilises relations between different kinds of objects and bodies, including one's body and the bodies of others. These relations are not only technical since they can be psycho-affective or ludic (playful). Rather than using the term 'body scheme', Warnier (1999) prefers to use 'driving conduct' (*conduite motrice*) to signify this active relation to materials.

Body synthesis (or body scheme) is the synthetic and dynamic perception that a subject has of herself, of her driving conducts, and of her space-time position. It requires the senses in their relation to her own body and to the material culture. The synthesis results from a learning process that happens all life long. It shows a great deal of individual, cultural and social variability, while assuring the subject continuity in her relation to the environment. It successively dilates and retracts

in order to integrate multiple objects (car, appliances, clothes, sport equipment, etc.) in the subject's driving conduct. (Warnier 1999: 27)

The behaviour of the extended body stands in tension, positioned between innovation and habit. A habit is thus an experience crystallised into an extended body.

A practice approach shows that the human subject does not aim to extend his or her body for its own sake, or to become a complete organism, but to perform known configurations (habit) or to test new situations (innovation, experimentation). Does this process have any direction? Following Spinoza, Bennett states that 'bodies strive to enhance their power of activity by forging alliances with other bodies in their vicinity' (Bennett 2004: 352). The goal, according to Spinoza's ethics, is to increase the degree of self-direction regarding one's encounters. Whether we go along with that conclusion or not, the story of the extension of bodies provides a set of ideas with which to reflect upon our encounters with matter.

6. Three means of using the extended body concept

To summarise, the concept of an *extended body* allows us to explore the links between practice and sustainability. Extended bodies give concrete shapes to practices and practices, in turn, cut across individuals. Understanding how this works is a matter of understanding processes, events and relations: it is not a matter of substances or essences. After this long detour through extended bodies and their topographies, I will now try to give some hints as to how such an account might help in moving towards sustainability. For sustainability, the issue is one of matter, and from this point of view an obvious response is to curtail aspects of material extension. However that goes against a tendency observed since the start of the industrial revolution, this being towards maximum extension. To understand how this has come about I need to say a few words about how extended bodies change over time.

To the extent that the performance of a practice is the functioning of an *extended* body, aspects of spatial extension are critical in that they involve and allow the intertwining of different *topographies*. Material extension can result from three different processes: hybridization, succession and delegation. We have already seen how hybridization occurs through the combination of different topographies (skin, flux, animal, vegetal, other humans). Each topography has its own trajectory. In addition and as already discussed, the superimposition of topographies is made

possible through networks, systems of provision and associated milieus. For example, cars have developed as integrated extended bodies because infrastructures (especially cities) have been organised around them. In addition to these kinds of surface networks there are underground systems of ducts and pipes. Above ground, the air is now criss-crossed by electromagnetic waves. The creation of new milieus of this kind permits the superimposition and hybridisation of different topographies. Understanding hybridization is consequently important for understanding how the mobility of humans and non humans connect to infrastructures.

Besides the point that extension changes the potential for superimposing topographies, the multiplication of extended bodies is of direct significance for questions of sustainability. Each time a new object comes on to the market, either a practice changes or a new practice appears. When the effect is one of addition rather than substitution, the sheer number of extended bodies increases. The extent to which a practice is embedded depends on the number and distribution of practitioners and the frequency of their performances. The potential to pack more practices into a day relates to the fact that relevant infrastructures are managed and maintained by others (humans and non humans). Parts of my extended bodies (house, car, machines, infrastructures, etc.) are kept in good condition by others so that I can behave like an autonomous animal body. Such arrangements mean that I encounter many different objects and situations within a given period – an hour, a day or a year. These multiple encounters are directly related to the increased number of objects that populate our lives. They also have to do with the potential for delegation. People are able to perform practices in parallel within a multiply extended body because they are able to delegate some tasks to machines. The idea that objects somehow take the place of human labour (labour saving devices) does not make sense in terms of an analysis of the extended body. From this point of view, a functioning washing machine or oven are parts of the home, viewed as an extended body. The concatenation and simultaneity of practices in the same extended body, for example, the home, draws attention to the importance of coordination and the significance of reliable external sources of power.

7. Implications and conclusions

The contention that practices are enacted by extended bodies suggests that practices cannot be simply dematerialised: the material is integral to the extended body and its performance. More

broadly, the tendency towards bodies that are extended further and towards a world in which there are simply more extended bodies (not necessarily related to an increase in population) helps explain why industrialised countries consume so many resources. How might these ideas be translated into suggestions for sustainable policy, beyond already familiar advice to live slower and more localised lives? In this last part I show how the five topographies lead to new viewpoints about the way we care for things and living bodies.

First, there is a need to care for and to develop new skins. Consider skins that are related to comfort. Considerable resources are today required to condition space (in terms of temperature, humidity, light, quietness, etc.) within the envelope of a building skin but we know that comfort can be obtained in different ways, for example through clothing, itself an extended skin. Other questions relate to the distribution of skins. For instance, land planning might be thought of as a process of establishing urban and rural skins, and of managing connections and forms of circulation between them. On the other hand, when precious fluxes enter an empty skin, the result is obviously wasteful. Equally, existing skins might be 'larger' than we need, hence imagining future skins that are more adaptable, and that have a variable geometry.

Second, fluxes are rarely considered. Instead dominant discourses focus on questions of access to stocks of material or energy. This metaphysics of stock leads to a view in which environments are expected to deliver relevant resources and products at the right place and at the right time. By contrast, a metaphysics of flux suggests that extended bodies can and should be adapted to actual fluxes. For instance, renewable energy is produced when it is windy or sunny. At moments when energy is produced, extended bodies might be activated, but scaled back when energy is scarce. Attending to fluxes is not only a matter of paying attention to the variable intensity of practices/extended bodies. It also reminds us to consider beneficial and harmful flows: what pleasure or damage is caused by the products that go through the gates of my skin in both directions?

Third, the development of animal parts, through the creation of new solidly bounded entities, has led to increasingly complex forms of coordination and delegation. The extension of animal topographies depends on resources such as space, time, energy, water and materials of different kinds. A straightforward recommendation is to reduce the animal parts of extended bodies. This is especially important since the animal regime of action depends on specific concepts of identity and ownership. To rethink the animal topography is to question the regime of private property: what

objects should belong to one human body, and what could be shared among different human bodies? As animal topography and mobility are directly linked, taking care of our animal bodies depends on paying attention to their movement, speed, and direction of travel.

Fourth, certain vegetal parts of extended bodies deserve deliberate cultivation. This suggestion should not be confused with a plea for vegetarianism or a ‘rooted’ existence. Rather, a vegetal orientation is, in essence, a matter of focusing on fluxes and how they are channelled, on symbiotic relations between humans and non humans, and on the circulation of relevant signs.

A fifth suggestion is to multiply the number of other humans included in the extended body. This is a means of tackling issues of ownership and sharing, and of creating new meanings through interesting interactions. For instance, in a family, there are multiple co-existing perceptions: all human bodies in the household have different perceptions that are more or less coordinated. In this context if the injunction to ‘save energy’ is to have any meaning, the extended body (the family) has to organise its parts and movements with reference to this goal. This is likely to require recurrent discussion. The recommendation to increase the number of human bodies in an extended body has other advantages. One is that it draws attention to inequalities between people. Inequalities of income, knowledge and skill are partly due to an unequal distribution of relations between humans. If humans (rather than commodities) could freely travel, meet and exchange, inequalities between extended bodies might be reduced. These encounters would create new practices and meanings. That said, infrastructures, walls and borders obviously play an important role in separating humans.

To conclude, I would like to come back to the question of whether individuals always seek to extend their bodies. The human body is at the centre of the extended body: the term ‘extended’ is applied to the body. Agency is distributed, but differences remain between humans and non humans. In a sense, I have argued that an extended body expresses a way of living. We extend our bodies to find new configurations, new ways of living, that are meaningful. Living is consequently defined by the potential to experiment with new assemblages. The way we want to live is directly linked to the way we want to develop our extended bodies. Possible actions are not predetermined, but are potential combinations of new extended bodies. Bodies can be indefinitely extended, but the question – for sustainability – is about how we can prevent ourselves from becoming slaves to our own extended limbs. The ethical principle of the adequate body (in Spinoza’s sense) relates not to the maximum possible extension of one’s body but to the possibility to experiment with new

and meaningful assemblages. Rather than multiplying extended bodies, it is possible to intensify a selected set of geometries. Moving towards the goal of sustainability consequently depends on realising that power of human bodies is increased not by the extension of their parts, but by the intensification of their internal relations.

References

- BASALLA, G. (1988) *The Evolution of Technology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- BENNETT, J.(2010) *Vibrant Matter. A political ecology of things*, Durham NC: Duke University Press.
- BENNETT, J. (2004) “The force of Things: Steps toward an Ecology of Matter”, *Political Theory*, 32, p. 347-372.
- BUTLER, S. (1912) “Lucubratio Ebria” [From the *Press*, 29 July, 1865], *The Note-Books of Samuel Butler*. Available HTTP: <<http://www.gutenberg.org/dirs/etext04/nbsb10h.htm#startoftext>>. Accessed 6.7.2012.
- COLLINS, H. (1974) “The TEA set: tacit knowledge and scientific networks”, *Science studies*, 4, p. 165-186.
- DELEUZE, G. and GUATTARI, F. (1983) *Anti-Oedipus: Capitalism and Schizophrenia*, trans. R. Hurley, M. Seem and H. R. Lane, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- DELEUZE, G. and GUATTARI, F. (2009) “Balance-Sheet for “Desiring-Machines”, in F. Guattari (ed.) *Chaosophy: Texts and Interviews 1972-1977*, Los Angeles: Semiotext(e).
- GOULD, S. J. (1989) *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, New York: W.W. Norton.
- GRAS, A. (2007) *Le Choix du feu. Aux origines de la crise climatique*, Paris: Fayard.
- HALLÉ, F. (2002) *In Praise of Plants*, trans. by D. Lee, Portland, Oregon: Timber Press.
- HARAWAY, D. (1991) “A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century”, in *Simians, Cyborgs and Women: The Reinvention of Nature*, New York: Routledge.
- JAMES, W. (1890) *The Principles of Psychology*. Online. Available HTTP: <<http://psychclassics.yorku.ca/James/Principles/>>. Accessed 6.7.2012. The quotation comes from Chapter X, The Consciousness of Self.
- LATOUR, B. (1993) *La Clef de Berlin et autres leçons d'un amateur des sciences*, Paris : La Découverte.
- LATOUR, B. (1999) *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*, Cambridge, MA: Harvard University Press.

- PICKERING, A. (1984) *The Mangle of practice*, Chicago: University of Chicago Press.
- RAUNIG, G. (2010) *A Thousand Machines. A Concise Philosophy of the Machine as Social Movement*, Los Angeles: Semiotext(e).
- SCHATZKI, T. (1996) *Social Practices: A Wittgensteinian Approach to Human Activity and the Social*, Cambridge: Cambridge University Press.
- RAUNIG, G. (2010) *A Thousand Machines. A Concise Philosophy of the Machine as Social Movement*, Los Angeles: Semiotext(e).
- RECKWITZ, A. (2002) "Towards a Theory of Social Practices: A Development in Culturalist Theorizing", *European Journal of Social Theory*, 5, p. 243-263.
- SHOVE, E. (2009) "Everyday Practice and the Production and Consumption of Time", in E. Shove, F. Trentmann and R. Wilk (eds), *Time, Consumption and Everyday Life Practice, Materiality and Culture*, Oxford: Berg.
- SHOVE, E. and PANTZAR, M. (2005) "Consumers, Producers and Practices: Understanding the Invention and Reinvention of Nordic Walking", *Journal of Consumer Culture*, 5(1), p. 43-64.
- SIMONDON, G. (1980) *On the Mode of Existence of Technical Objects*, trans. by N. Mellamphy, University of Western Ontario, Ontario. [Originally published in 1958 as *Du mode d'existence des objets techniques*].
- SPINOZA, B., (1677) *Ethics*. Online.
Available HTTP: <<http://frank.mtsu.edu/~rbombard/RB/Spinoza/ethica3.html#Definitions>>.
Accessed 6.7.2012.
- WARNIER, J.-P. (1999) *Construire la Culture Matérielle. L'homme qui pensait avec ses doigts*, Paris: Presses Universitaires de France.
- WINANCE, M. (2006) "Trying out the wheelchair. The mutual shaping of people and devices through adjustment", *Science, Technology and Human Values*, 31(1), p. 52-72.

[8] Standardisation of practices and representations of users in the ecodesign Directive

in *ECEEE 2009 Summer Study Proceedings*, pp.1763-1771. Co-author : Nicolas Prignot.

Abstract

Our project, ISEU (Integration of Standards, Ecodesign and Users in energy-using products¹), is among other concerned with the implementation of the ‘ecodesign Directive’ on energy-using products (EuPs). The preparatory studies of this Directive make recommendations on implementing measures, and are discussed in expert meetings and in consultation forums, where industries, public authorities and NGOs are represented.

Each preparatory study follows a common methodology. We have analysed in detail the part concerning “consumer behaviour and infrastructure” for four categories of products: heating regulation, domestic lighting, computers and washing machines. This analysis reveals different interesting points. Each studied product category discloses a singular technological dynamics and a different figure of users. In the case of washing machines, the observation of a divergence between real uses and standards has led to the proposition of new standards more in phase with current practices. To enforce the ban of incandescent bulbs, users are described both as reluctant and potentially aware of the need of recycling the CFL’s. Computers are evolving very fast, and so are their related practices; this questions the possibility to reach an agreement about a lasting energy standard for computers. In the case of heating, users are poorly considered to the extent that the control of the system is delegated to electronic devices.

The modelling of the use phase induces biases in the standardisation of energy efficiency of appliances. Standard tests for the energy labelling are conceived on the basis of an average use, sometimes far away from real behaviours and the diversity of practices. As in the case of washing machines, it can be argued that the labelling scheme and standards have and will transform the appliances available on the market in a direction possibly opposed to practices’ evolution.

¹ <http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=en&COD=SD/TA/07A>

1. Introduction: the ecodesign Directive framework

The “Ecodesign Directive” of the European commission aims at improving the ecodesign of energy-using products (EuP’s) and at increasing their energy efficiency². The analysis of the implementation of this Directive is a unique opportunity to understand how appliances are conceived, for this is the moment when a new kind of requirement has to be integrated into these appliances, forcing to reconsider them from a new perspective. In our research, we take advantage of the negotiations between different actors (manufacturers, NGO’s, European Commission...) to analyse the controversies and the new knowledge produced about some household appliances. Our methodology is based on the sociology of translation in order to follow the transformation of requirements through texts (e.g. Latour 2005), and on the sociology of controversies to understand how the new constraints on EuP’s are negotiated (Akrich 2005). We have realised interviews with stakeholders, and have attended to stakeholders meetings when possible. In this paper, we focus on the representation of users (households) in the implementing process of the ecodesign Directive. How are users defined, explicitly or implicitly? What are users supposed to do? How are future practices described in this European legislation? What are the consequences of representing users’ practices as an “average pattern”? What are the sources of information on users in the implementing measures?

The Directive 2005/32/EC “establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products” (which we call ‘ecodesign Directive’) is a legal text which was proposed by DG Transport and company (DG TREN) and DG Energy following the merger of two other draft guidelines, and was adopted by the Commission in 2005. This text had to be transposed into national law of each Member State for August 2007 at last. The objective of the ecodesign Directive aims mainly at reducing the energy consumption of appliances. The Directive itself does not take any measure to reduce consumption. Implementing measures are taken after that each product category has been scrutinized. This process follows six steps³:

1. Selection and constitution of ‘product categories’. The selection of the categories to be studied in priority is made on the basis of the total consumed energy in Europe and on the purported reduction of environmental impacts. Twenty products are currently covered, including boilers,

² http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/eco_design_en.htm

³ The process can easily be followed on: http://www.eceee.org/Eco_design/products

water heaters, computers, televisions, lighting, refrigerators, washing machines and dishwashers, It is not always obvious to divide all the appliances into homogeneous categories, as provided by the example of lighting which is divided into: office, domestic, directional. A list of new product categories to be scrutinized has been released last October, and includes air-conditioning systems and food-preparing equipment.

2. In order to prepare the implementing measures, the Commission contracts out consultants to produce technical knowledge about each selected product category. These ‘preparatory studies for ecodesign requirements of EuP’ (abbreviated to ‘preparatory studies’), made of hundreds of pages, are available on dedicated websites. Each preparatory study takes 18 to 24 months and involves ‘stakeholder meetings’ where industry, NGOs and other stakeholders may comment and bring their knowledge. These ‘preparatory studies’ are supposed to follow a common methodology, elaborated by the VHK consultants in 2005, based on a simplified LCA and called MEEUP. As we shall see, the preparatory studies do not always stick strictly to this methodology. The preparatory study is divided in 8 tasks. In this paper we are mainly interested by a transversal analysis of the task 3: “consumer analysis and local infrastructure”.
3. On the basis of the completed preparatory study the ‘consultation forum’ is gathered. This Forum is composed of experts, stakeholders and representative of Member States. It has to define and review the implementing measures, to monitor the efficiency of the established market surveillance mechanisms and to assess the voluntary agreements and other self-regulatory measures taken in the context of the Directive. The Forum is then in charge of providing the first proposal of the implementing measures.
4. On this basis, the Commission writes a draft regulation. Like other ‘new approaches’ Directives, the implementing measures can require standards and a mandate can thus be given to some European standardisation bodies.
5. This draft is discussed and possibly adopted by the Regulatory Committee, which is composed by one representative of each EU Member State. If the proposal is adopted by the majority of the Committee, it is sent to the European Parliament, according to the codecision process.
6. The regulation is formally adopted when it is published in the Official Journal of the European Union.

At this moment (February 2009), two product categories have been submitted to new regulation: standby modes and simple set-top boxes. Battery chargers and lighting have been approved by the Regulatory Committee and will be soon discussed at the European Parliament.

The ecodesign Directive has to be understood as a part of a larger set of Directives concerning energy-using products, mainly the Energy Labelling, WEEE and RoHS Directives. WEEE and RoHS are concerned with disposal and recycling of hazardous electronic and electrical equipments, including washing machines, computers and other household goods. The ecodesign Directive will thus not cover these matters, but has to take into account the existence of these two Directives. The labelling Directive proposes to label some appliances with energy-labels, showing the energy efficiency of the appliances. As this Directive is concerned with energy efficiency, it is close to what is going in the ecodesign Directive. In the most recent proposals for implementing measures, concerning the wash appliances, the ecodesign Directive is considered as being a “push” of energy efficiency to the market, where the labelling Directive is considered as a “pull”.⁴ The ecodesign Directive set a minimum requirement for energy efficiency and alone that would only lead to a concentration of the number of appliances just above this minimum threshold. The labelling Directive is supposed to pull the market beyond this threshold, promoting more energy efficient products. The labels have thus to be adapted in regard of the obligations of the ecodesign Directive.

2. Representation of users in the ecodesign implementation

Representation of users can be understood in two senses, both having an eventual impact on the construction of the appliances: mental representation of users that different actors can have (e.g. designers); or political representation through organisations. In this paper, we will concentrate on the textual representation of the users in the preparatory studies of four product categories: washing machines, computers, lighting and boilers. We have selected these four products on the basis of their diversity of uses. For the washing machines and lighting, the implementing measures have already been proposed by the European commission and are under the process of acceptance. This has led the Consumers association to react to the final proposals. The two other product categories are not at such an advanced stage of the process. Nevertheless, the preparatory studies are now finished, and all documents are available on the consultants' websites.

⁴ Document “Ecodesign for Washing machines” on http://ec.europa.eu/energy/efficiency/ecodesign/forum_en.htm

The preparatory studies have a common structure and all of them gather information about users' behaviour in task 3: "consumer behaviour and local infrastructure". The common methodology for all the preparatory studies has been established by the consultant VHK in 2005 and suggests to collect the following data about uses: real load efficiency (vs. nominal), temperature/timer settings, dosage of auxiliary inputs during use, economical product life (in practice), end-of-life actual behaviour (present fractions to recycling, re-use, disposal, etc.), best Practice in sustainable product use. As we shall see, many of these topics are missing in the preparatory studies. At this stage we can only hypothesise the reason of this absence of data.

The political representation of users in the European standardisation processes is part of the "new approach" method of legislating.⁵ The representatives of all interested parties have the right to participate in the negotiation of the process leading to a standard. In the process of negotiating the implementing measures of the ecodesign Directive, several stakeholders meetings are organized for every product category. In this framework ANEC is the European consumer voice in standardisation, and ECOS is the European Environmental Citizens Organisation for Standardisation. The power of these organisations is naturally quite limited, since all technical data used to build and to legitimate the implementing measures are provided by the representatives of the industry (Lascoumes and Le Galès, 2007). Nevertheless, our analysis rests also on the statements issued by NGOs, for their critiques can reveal important controversies and therefore the constitution of objects in becoming.

3. Washing machines: standardization of appliances, diversification of practices

The preparatory study concerning washing machines (ecowet.org) has been led by ISIS (Istituto di Studi per l'Integrazione dei Sistemi). The task 3 describes uses and washing practices based on a survey realized especially for this study and of figures extracted from various other sources. The survey has been made online, and counts 2500 people, distributed amongst 10 countries (250 per country). The households participating to the survey were selected to be representative under conditions of gender, age and household size. It is a part of a larger study on freezers, washing machines, dishwashers and refrigerator. The sample had to be composed of

⁵ <http://www.newapproach.eu/>

100% of respondents having a washing machine and a refrigerator, not less of 70% possessing a freezer and not less than 50% having a dishwasher.

There could be some bias in this sample. First, it is an online survey, and not everyone can answer an online survey because a computer and an internet connection is needed, which could lead to a higher representation of more educated people. It is also important to note that some of the answers to the survey pose some problems to the 'ecowet consortium', but others do not. For example, the majority of the respondents declare that they use their washing machines at the full-load capacity, which is doubted by the consultants. On the opposite, the majority of the respondents declare that they use most of the time the "eco" program, which is not doubted by the consultants, but could be an answer induced by the "politically correct" behaviour related to this question.

The preparatory study aims at giving a fixed version of the behaviour of the users in regard with washing machines. It does not intend to give an historical overview of the use of washing machines, of the definition of cleanliness (Shove 2003) or give an explanation of the number of times users clean their clothes (number of times a week per person in the household). The behaviour of the users is an undiscussed result, that has to be taken into account, but that is not being questioned. It is indeed obvious that uses are shaped by appliances (and social norms). A true ecodesign perspective could have thus suggested new ways of interacting with the products. But there is also no attempt to explain the observed behaviour (answer to the "why" people behave as such), while that has been done in other preparatory studies (cf. computers).

The principal result of this study is the idea of a "real-life behaviour" of the households. This is compared to the standards used to calculate the energy efficiency of the washing cycles. Nowadays, the energy efficiency of washing machines is measured under standard conditions described in EN 60456: 2005 Clothes washing machines for household use - methods for measuring the performance (IEC60456: 2003 modified). This standard is also the basis for the European energy labelling system. This standard is criticised by the consultants of the preparatory study for not representing the real-life behaviour of the households. The way to measure energy efficiency is considered as a major issue, as it would contribute to change the design of the washing machines and allow the consumers to know what machines would be efficient under the "real" conditions.

The final conclusions about the survey and the users behaviour are:

1. 4,9 washing cycles are done per week per household (1,7 per person per week).
2. Wash programme at 40° is the most used (37%) followed by the 60° programme (23%).
3. Average washing temperature is 45,8°.
4. Cotton and mixed are the most used programmes.
5. The energy saving programme/button is the most frequently used option.
6. Average spin speed used is 914 rpm.
7. Most consumers use the full loading capacity but it is agreed that this does not mean that the rated capacity is really used (or can be achieved).
8. Delay start options used only in 8% of cycles.
9. In 50% of the cases at the end of the cycle the washing machine may stay in this mode for an average of 3 hours.

Of these, it is concluded that “the individual consumer behaviour has a major influence on the amount of energy and water used in the specific household”. “Consumer training and education” should therefore be ensured and worked on.

The actual version of the new performance standard proposed in the implementing measure is based on a proposition of CECED (European Committee of Domestic Equipment Manufacturers). This new standard would use different washing temperatures and different loads of the washing machines combined together. It is close to the conclusions of the preparatory study, but has been contested by ECOS and ANEC for not being close enough to the real behaviour of users and the real trends of the market.

The standards on which the measures are based have indeed a strong influence on the market. As the Standards nowadays use only a 60°c full load program and measures the total energy consumption divided by the weight of the full load, bigger machines are advantaged compared to small ones. It is thus proposed to modify the scale used to measure the energy efficiency, in order to avoid that bias. The energy efficiency of the washing machines should be measured with a mix of 40°c and 60°c programs, and with a mix of full and partial load. To avoid the fact that bigger machines would still be more efficient than smaller ones on a basis of 1kg of clothes, the machines should be compared with a standard machine of the same rated capacity. This will avoid the

advantage given to bigger machines, but will not give an advantage to smaller ones either (ECOS 2008, ANEC 2008).

The behaviour of users is considered as the key to energy savings and the most important variable is the possibility to change temperature. It is not clear however to which actor is directed the objective of behavioural changes: users (change of practice) or machines (change of programmes). Because a machine offers a possible program to use, like a short-time program, then the choice is left to the user, making the user responsible for the possible savings. But the question could be asked differently, deciding to fix a certain characteristic of a machine so that the choices of the users would be limited to the more energy-efficient ones. But that goes against the scope of the Directive that cannot reduce the functionality of an appliance. The behaviour of the users is considered to be given, stable, and not transformed and produced by the design of the appliances. The fact that washing machines are part of a system of codes or social norms and other appliances are not addressed either. This study focuses only on the description of the washing machines as they are now, by themselves, and how they are used on average.

It could also be asked if the standardisation of the practices is actually a relevant way to represent the user's behaviour. The practices vary according to countries, but within countries and even within households. The diversity of practices could lead to different regulation and different way to design the machines. The interfaces of the washing machines are also very diverse, but this question is not addressed either. There could be a clear proposition to set the "eco" program as the default setting on the various washing machines, but this option is not selected.

The following aspects are addressed by generic and specific requirements:

- Specific requirements: to be enforced in two steps starting one year after the entry into force of the measure:
 - maximum energy efficiency index (EEI) levels. This index determines the energy label (the lower the EEI, the higher the energy efficiency)
 - maximum water consumption
 - minimum washing performance.
- Generic requirements, to be implemented two years after the enforcement of the measure:

- prevention of the detergent over-dosage: a scale on the detergent dispenser related to a table in the booklet of instructions advising consumers about the maximum amount of the detergent that should be used for the main types of detergents on the market and the textile type and degree of soiling of the laundry.

4. Domestic Lighting: CFLs as trade-off between efficiency, environment and quality

The draft of the Task 3 of the preparatory study of domestic lighting takes for granted the ban of inefficient lamps.⁶ There is indeed a general trend towards banning incandescent bulbs for energy saving reason. Three years ago, Brazil and Venezuela started to phase theirs out, and other countries, including Australia, Switzerland, Canada and the US, have followed suit. If the European Parliament endorses the proposal of the Ecodesign Regulatory Committee of last December⁷, it would probably be the first time that a marketed product is banned for environmental reason while requiring changes in the users' behaviours. A famous previous prohibition for protecting the environment is the removal of CFC. However their substitution with HFC has not entailed a change in users' practices, contrarily to what is required by the incandescent bulbs ban.

The preparatory study indicates different purposes for installing electric lighting systems: facilitating the performance of visual tasks, promoting safety and security, attractively revealing the environment and creating atmosphere, participating in the interior design of the home. However, only the first one is truly considered through the Task 3 document. Light is mainly analysed as the product 'lamp', though lighting is a system mixing natural and artificial light. A physiological touch is given through the description of the normalised eye sensitivity. A cultural aspect is referred with the taste for warm and cold lights depending on the latitude. The main interest of domestic lighting, however, is the different controversies triggered by the compulsory replacement of inefficient lamps by CFL's (Compact Fluorescent Lamp or 'energy saving lamp').

The first controversy is about aesthetics: the affection of people for their old luminaires, and the beauty of light itself. For old luminaires, the consultants are clear: users should get rid of them. "Some luminaires do not accept an energy efficient retrofit lamp due to the available space and/or

⁶ The preparatory study has been coordinated by the VITO and is available on request at: <http://www.eup4light.net/>. LED's are treated in another study about 'directional lighting'.

⁷ <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1909&format=HTML&aged=0&language=EN>

socked types. (...). In most cases a luminaire replacement should be recommended. Users of those luminaires should be informed in cases when replacement lamps will become obsolete in order to allow them to store sufficient replacements lamp in the cupboard. This cannot involve any problem because the cupboard store life time of these lamps is not limited.” (Lot 19: Domestic Lighting, Task 3, p. 23). ANEC pleads for a slow phasing out of lights that have no equivalent with a A or B energy class (e.g. some kinds of halogen), hoping that technology will save old luminaires.

Aesthetic debates concern also the beauty of light. As a previous study (Wallenborn et al. 2006) or internet forums show, many customers are still reluctant to buy CFLs, not only for their higher prices but also for their supposed lower quality of light (especially at the start up). The preparatory study addresses this question in ascertaining the “lack of skilled and informed users”. The quality of CFLs’ light has been greatly improved these last years. Bigger variety and more aesthetical care is also a recent trend of CFL market. These affirmations are probably true, but they do not seem to be based on studies. If users have not perceived the recent changed, it is because they lack information about what constitutes the quality of light, states the preparatory study. “Users should be clearly informed about correct lamp selection parameters (start up time, light colour, light distribution, light output, dimming method, life time, temperature sensitivity, ...). It is also recommended that users are informed about the proper energy efficient retrofit solution in case certain products become obsolete.” There is however a quick reference to the fact that the quality of lighting is culturally deemed (Wilhite et al., 1996; Bertoldi & Atanasiou, 2006). Southern Europeans tend to prefer colder (bluer) light and Northern tend to prefer warmer (redder) light.

The second controversy is about ‘*quicksilvering*’ our practices. CFL’s contain indeed mercury, and must therefore be carefully discarded. This content in mercury is regarded as acceptable when compared to the reduction of mercury emission in coal power plants that the use of CFL’s entails. Indeed the decrease of mercury emissions resulting from energy savings (calculated for Europe) outweighs the need for mercury in the lamps. But this implies that consumers have to contract new behaviours: CFL’s must not be thrown away in the waste bin as classic bulbs. This change in “end of life behaviour related to consumers” is not guaranteed. On one side, consumers have been described as reluctant (this is the reason for implementing the prohibition), another side they are supposed to be willing (they will recycle their lamps). The perception of the lamps will also have to change: they are potentially dangerous (contain toxic gases), and therefore must be recycled. Alongside NGO’s state that information and awareness raising campaigns are necessary since

citizens are not enough aware that these lamps should be collected separately. They seem however quite alone in demanding to reduce as low as possible the content in mercury in the CFL's.

The third controversy has a lesser extension. Some people claim that CFL's are emitting electromagnetic waves (due to the integrated ballast) and that they should not be used as bedside light for instance. The preparatory study has just a sentence on that subject: "electromagnetic fields are also causing concern to some stakeholders". ECOS has a solution to this problem and "suggests that the few people suffering from specific light sensitivity causing them harm with all possible alternatives to incandescence could get appropriate lamps in pharmacies through medical attestation."

Regarding the use of CFL's, the preparatory study has a short discussion about the harmonic interference in the low voltage network. Indeed the replacement of incandescent lights (which have no reactive power) by CFL's (which have a reactive power due to the ballast) could provoke disturbances on the network. Even if the answer is that the effect on the voltage quality would not be affected, this is a rare case where uses are considered as connected together — facilitated by the material network of electricity.

In conclusion, the aim of energy efficiency is clearly dominating the policy agenda, since even with its different inconvenient, CFL's are being promoted as energy savers.

5. Computers: uses and technology evolve too fast to be measured

The preparatory study on computers is being realised by IVF Industrial Research and Development Corporation. It is very clear about the lack of knowledge about user's behaviour on which it is based. The introductory lines state that user's behaviour is not much known, despite the fact that some studies are available.

The usage pattern of a computer means in the study the average time a computer spends in different modes (active/idle, sleep and off). What the computers are used for during this time is regarded as a non-question, even if it can actually influence the consumption of the appliance. Playing videogame requires the use of a graphic accelerator and demands more energy than writing a text. Using internet also has an associated consumption as it requires the use of servers and data exchange. Consumables can also be considered as energy-consuming, at least for their embedded energy.

The average use of computers is considered by the consultants as representing no one's use (which is the opposite of the washing machine preparatory study). Nobody could actually use a computer as such. Because of that the usage patterns are divided in two categories: home use and office use, which would be closer to real life uses.

Office use is considered to be: turning on the computer when arriving to work, leaving it on when leaving, which will make it go into sleep mode after some time. The computer is supposed to be turned off only during weekends and holydays. This corresponds roughly to a repartition of 1/3 of the time for on, sleep and off modes. Home computers are "on" for 1/6th of the time, and in "soft off" mode the rest of the time.

The representation of users seems to be difficult for the consultants. They seem to try to find reasons for the uses, but cannot find the source of the behaviour of users outside the evolution of computers themselves. They have a problem because they cannot separate hardware, software and behaviour. As they cannot propose legislation on the use and on the functions that a computer can offer, they are left with nearly nothing to say on the importance of the use of the computers. People use computers more and more, for reasons that they give some "explanation" for, but thus they can only ask for more energy efficient computers that would consume less energy.

IVF consultants have a very great difficulty to define a usage pattern, as the uses are evolving with the new possibilities offered. The definition of a computer as a machine is clearly not enough, because its use makes it change more and more. From a basic calculating machine, computers have turned into advanced image processors, sound, video, multimedia players, but also connected machines, receiving information from internet on a constant basis, used a communication device to stay connected with people permanently. The functions they propose determines the behaviour of the users, and that is what the consultants try to explain when they give "explanations" of the usage patterns. What they have found in the studies about consumers use is always referred and explained as the results from new technologies, not as changes that could be identified as "social". And computers are not used for a single purpose, they are still machines that can do many things altogether, and that is the main reason why their use is increasing. The consultants are very aware of the fact that the uses change very quickly, rendering very obsolete the studies on uses very rapidly. But still, what they apply is a very average usage pattern for the two different uses they identify (home and office). They of course call for more studies on the matter, as every other study that "lacks the data".

The consultants are very aware that some technical features of the computers will clearly influence user's behaviour, and are trying to isolate them. For example, if the computer takes a long time to reboot, it will be turned off less often, or if the wake up from hibernation is unstable, the hibernation feature is likely to be turned off. So the machines and the systems are here considered as having a direct influence on the behaviour. The main factors influencing the decision of the users are: the time it needs to start, the price and, of course, the lack of information of the users about the fact that a computer uses a lot of energy in a idle mode. But the consultants do not go as far as to say that the users would use their computers less if they knew that it consumes a lot of energy. They do not take that side of things, not going into "display" solutions used to raise the awareness of consumers. They seem to take into account the factors influencing the behaviour of consumers only under a question of price, easiness and speed, so implicitly defining users's behaviours as hedonist (Prignot & Wallenborn 2008). In other parts of the text however, the consultants insists on the fact that the behaviour of the users is a rational one because users are reaching their goals. Rational and sustainable are not linked in the sense that rational does not mean sustainable. But they insist for the fact that if sustainability is to reached, it should be enforced by the machine itself, and not by improving the rationality or the awareness of the consumers. Computers should do the job by themselves.

In conclusion, what is interesting with computers is that their evolution, their power to change the practices, the way they change our everyday life insists to be taken into account. With computers, it is very difficult to say that more information on the energy consumption would be strong enough to go against the computer revolution.

The propositions for the implementing measure in the task 8 aim mainly at setting energy efficiency requirements, but it is considered as problematic to set maximum energy consumption because of the future evolution of the market. As the market is changing so quickly it is difficult to set an energy consumption scale for the computers. There is a strong attempt to create a scale for other products, but with computers there is no global scale and possibility to calculate energy consumption "per unit". What a computer does is not possible to fix on a scale. There is a problem of the different components of a computer that cannot be neglected to reduce its consumption of the central core or the CPU of the computers.

6. Heating: delegation of decision to technology

VHK consultants has been commissioned for realising both the common methodology (Methodology Study on Eco-design of Energy-using Products) and the preparatory study about boilers. While in the common methodology study the consultants were setting specific requirements for acquiring data on uses (e.g. temperature setting, timer), this kind of data is almost completely absent in the preparatory study. As a general remark, users are hardly present in all the “ecoboiler report”.

The consultants explain this absence of users analysis by the lack of data. Yet, they could have more documented the real indoor temperature setting in the different part of Europe. There is for instance a comprehensive discussion to have about the supposed increase of temperature settings, and from where come these data (Shipworth 2008). Shipworth studied the supposed increase of the average room temperature in the UK for the last 20 years. She concludes that the rise of energy use in UK heating is not due to a rise of the average temperature, but to the increasing number of central heaters. The central heaters are more efficient but more rooms are heated, resulting in an increase of energy consumption. The source of data for the supposed increased of temperature was scrutinized and Shipworth concludes that it is an artefact of the change of calculation methodology between 1984 and 2007. In the preparatory study, the most explicit description of temperature setting refers to a calculation based on a “average heat load”: “An average indoor temperature of 18°C is taken as an average, typically based on a living room of 20-21°C, kitchen 18-20°C, bedrooms 16°C and bathroom 24°C.” Some additional remarks tend to prove that the consultants are not very confident in their sparse data.

Our analysis of the whole preparatory study shows however another explanation. Heating homes requires a whole system, and the consultants take a lot of time to describe all the *technical* parts of this system. The interface system/user is hardly analysed. Considered as a material agency, a heating system is the composition of the following elements that should be considered of equal importance: boiler, circulator, emitting devices, control, indoor climate, humans, differentiated rooms, home envelope, and the relationships between these elements. In the preparatory study, the user is seen through parameters that she can more or less control. But “installers play an overriding role as the average consumers do not judge themselves expert enough to go against such an advice.” (Eco-design Boilers, Task 3, p.1) Therefore, the heating system is not in the hands of their users.

Users have little grip on the whole system; everything is made so that users do not have to “bother” about it. The culture of energy — defined here as the knowledge and practice required making the heating system functioning — is now in the hand of professionals and imbedded in the technological black boxes. The best a user can do is to get a programmable control device (thermostat with one week timer). It is however not clear how should this thermostat be programmed. In task 1, the preparatory study critique the setback during the night and part of the day. “From mainly anecdotal evidence it is known that it is not wise from the energy point of view to lower the set-temperature too much and it is known that there are smart and less-smart boiler control strategies to deal with this. But there is no test method to evaluate this.” (task 1, p. 10) This is indeed a highly controversial statement...

The preparatory study reveals a general trend of delegating more and more the decision of heating to the system and to ‘smart electronics’. To increase energy efficiency of the system, refined controls are placed at different points of the system. All the important decisions are made before the installation, and once launched the running of the system is delegated to electronics. Therefore users can spare cognitive resources and spend their time to what they like. Increasing technology implies also more flexibility in the arrangement of the system and multiplies the number of possible systems. We have not seen however in the report questions about the control households would like to have on their own comfort. No question neither on the capability to deal with complex interfaces of thermostats. The technological trend goes towards rendering energy always more invisible. When we recall that heating correspond approximately to 75% of household energy consumption, other strategies should be explored. Users could be empowered to monitor their energy consumption if it would be more visible or if the automaticity of the demand would be reduced. They could have more freedom of choice about the running of the heating system, while being more materially attached to it. What about the shaping of new habits: should they be regularly challenged, in order to recall the stakes of heating through fossil fuels? But is this permanent negotiation possible with objects and indoor climate and people?

7. Lessons from the case studies: the diversity of practices should be acknowledged

A quite obvious, and nevertheless striking, conclusion of this short analysis of the representations of users in the preparatory studies of the ecodesign Directive is the big diversity of

EuPs and of their practices. Each studied product category reveals a singular technological dynamics and a different figure of users. In the case of washing machines, the observation of a divergence between real uses and standards has led to the proposition of new standards more in phase with current practices. To enforce the ban of incandescent bulbs, users are described both as reluctant (justifying therefore the prohibition of “bad products”) and potentially aware of the need of recycling the CFL’s. Computers are evolving very fast, and so are their related practices; this questions the possibility to reach an agreement about a lasting energy standard for computers. In the case of heating, users are poorly considered to the extent that the control of the system is delegated to electronic devices. We have to remind here that users do not consider the different EuP’s to belong to the same category (Bartiaux 2008). What brings EuP’s together is their energy consumption, but what users perceive is different services provided by different appliances. EuP is a policy product category, and it is not even always obvious to make homogeneous sub-categories, as in the case of computers.

The analysis of preparatory studies shows also that there is no clear model for the distribution of responsibility between user and appliance for explaining behaviours. In the case of washing machines users are supposed to be free to choose the programmes, while in the case of heating a smart thermostat should ideally do the job. It is not clear if this hesitation between user and appliance depends on the consultants or on the studied appliance. We can however suspect that the way the responsibility is distributed in the preparatory studies will have an impact on the redefinition of the appliances.

For the purpose of calculating, the preparatory studies rely sometimes on “average usage patterns” — which can be far away from real practices. If we want to measure the gap between assumed average patterns and actual practices, we have first to hypothesise a priori the diversity of practices. If one wants to observe different practices, we have to postulate their existence. If not, one cannot see them. The diversity of practices can then be reduced to average patterns, bringing in mind that this reduction is often a convenient convention. In the case of washing machines, lighting and heating, usages definitions are embodied in standards. The definition of an efficient washing machine through test standard is also a definition of what is considered as “real practices”, as the controversy between the CECED and ANEC shows. The quality of lighting is also defined through different standards (colour rendering index, start up time, ...) that do not fit always with the perception of users. Heating standards are deeply rooted in comfort norms that are not discussed,

though we know that heating practices are very diverse (Wallenborn & al. 2006). In the case of the computers, uses are so diverse that it is impossible to establish a standard beyond a fragile convention.

Preparatory studies are huge amounts of work: thousand of pages, full of data and technological details. Unfortunately, they lack data and details about practices. ‘Data do not exist’ seems to be the accepted answer. We have nevertheless seen that the data used to build the representations of the users behaviour depend on the study. Besides the few references about statements on users practices, preparatory studies do not consider the huge amount of published papers on domestic energy behaviours (cf. for instance the journal *Energy Policy*). In the selected case studies, original data were produced only for the washing machines. The fact that uses and practices of washing machines are well documented in comparison to the other EuPs could be explained by a gender-focused analysis. Indeed, at first view, heating regulation and computers (and even lighting) are considered as objects manipulated and controlled by men. They are made by men for men, and we can hypothesise that the representation of their uses are taken for granted. By contrast, laundry is still mainly the realm of women: this old women’s practice has been delegated to machines, but they generally keep control on the clothes washing (Kauffman 1998). Designers and producers have therefore to make surveys to answer to the non-obvious question of how these machines are used. Whatever is the reality of this assumption, the collection of data has led the stakeholders forum to reconsider test standards.

In search for seizing the diversity of practices, we are not promoting more research in “sociology of practices”, even though it could be of interest of course. But we would like to stress the need to ask important questions, even when engineers, economists or policymakers cannot answer them directly. The quality of public debate depends indeed on the collective ability to leave open and alive questions that have interest for the ‘final users’. Preparatory studies are made by engineers and are technology oriented. This comes notably from the way the ecodesign Directive has been conceived: improvements are examined at the level of a product category, and relationships between objects or with users are considered as marginal. It has obviously an influence on the way the stakeholders meetings are shaped: this negotiation space is mainly technologically centred. ANEC and ECOS are evolving in this space, and their relative convergence comes from the fact that they endorse the Sustainable Consumption and Production Plans. As the methodology report (VHK 2005) states: “Consumer behaviour can — in part — be

influenced by product design but overall it is a very relevant input for the assessment of the environmental impact and the Life Cycle Costs of a product. One aim is to identify barriers and restrictions to possible eco-design measures, due to social, cultural or infra-structural factors.” The users’ practices are here described as social, cultural and infrastructural factors that impede the full development of eco-friendly technological goods. As a consequence, the main advice concerning users is to better inform consumers, namely buyers. Practices are then not considered as an appropriation of appliances (Akrich 1995; Pantzar 1997) and an opportunity to change the culture of energy (Jelsma 1999; Wallenborn 2008).

To conclude, we can list several questions that are not studied in the European ecodesign framework.

The delegation of decision to technical objects imply that default settings are scripted into appliances. Default settings are however hardly analysed. Yet an eco-programme could be set by default in different machines (e.g. washing).

- The lack of relationship to users prevents to examine the meaning of energy-using practices. The case of computers is conspicuous: what people are doing is linked to the development of new social practices. And this question can be generalised to the big variety of tasks required by a specific practice (Shove 2003, Gram-Hanssen 2008). Which world do practices belong to?
- The analysis of behaviours is reduced to the question of energy consumption, though there is very few analysis of *associated consumption*, as the servers for internet use, or other consumables. For instance, the embedded energy in detergent can take as much as 50% of the energy used in a washing cycle.
- The question of aesthetics, in the broad sense of the word, is not asked, as the case of lighting shows. And in general, the reduction to energy efficiency prevents to ask the question of attractiveness of some objects.
- Rebound effect is hardly indicated in the preparatory studies. This is due to the insistence on efficiency, even though strategies of sufficiency could be taken as complementary (Darby 2007). To prevent rebound effect, apart from increasing prices, interrogating needs and practices could be an interesting starting point.

The practices related to energy consumption are going to change. The mutation of the ‘culture of energy’ has to be accompanied in order to prevent social disruption and to limit environmental impacts. The transition towards sustainable energy culture will require understanding household practices in order to adapt them to the new context. In this perspective, efficiency and sufficiency approaches should not be seen as conflicting but as complementary. We do not know what will be transformed, or prohibited (e.g. lights). How could practices be transformed without calling to the “good will” of users (through information instruments)? Users are mainly addressed in a rational ontology that mobilises information about energy efficiency of appliances (labels), while they are currently described in a hedonistic ontology (search for comfort) (Wallenborn & Prignot 2008). When left with these two ontologies, we fall inevitably in the gap between attitudes and behaviours. Furthermore, the reduction to average usage patterns on which the EuP regulation is based does not allow for experimentations with objects. These ontologies cannot take into account the creation of new relationships between an object and its user. Other ways of conceptualizing energy consumption could be brought by the objects themselves, modifying practices (Shove & al 2007). A experimental ontology, based on the idea that the desires of the humans are not fixed beforehand and that practices are modified by objects, would better be fitted to accompany the changes in culture of energy. This third ontology would be *experimental*, i.e. allowing redistribution within practices of the relationships between objects and users. The exploration of this experimental ontology — which already exists but is not thematized as such — is the following step of our research.

Abbreviations

ANEC: European Association for the Co-ordination of Consumer Representation in Standardisation

CECED: European Committee of Domestic Equipment Manufacturers

CFL: compact fluorescent lamp

ECOS: European Environmental Citizen Organisation for Standardisation

EEI: energy efficiency index

EuP: energy-using product

LCA: life cycle analysis

NGO: non-governmental organisation

RoHS: Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment

WEEE: waste electrical and electronic equipment

References

AKRICH M. (1995), “User Representations: Practices, Methods and Sociology”, in Rip A., Misa Tj., Schot J. (ed.), *Managing Technology in Society. The Approach of Constructive Technology Assessment*, London, Pinter, p.167-184.

ANEC (2008), *Joint ANEC/BEUC position on eco-design and labelling requirements for domestic washing machines*. <http://www.anec.eu/anec.asp?rd=37353&ref=03-01.01-01&lang=en>

BARTIAUX F. (2008), “Does environmental information overcome practice compartmentalisation and change consumers’ behaviours?”, *Journal of Cleaner Production*, 16, p. 1170-1180.

BERTOLDI P. and ATANASIOU B. (2006), “Residential Lighting Consumption and Saving Potential in the Enlarged EU”, in Bertoldi P. (eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL06)*, 2007, London.

DARBY, S. (2007), “Enough is as good as a feast – sufficiency as policy”, ECEEE 2007 Summer Study.

Directive 2005/32/EC of The European Parliament and of The Council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products.

ECOS (2008), *Position of ECOS, EEB, CAN-Europe, INFORSE-Europe, Greenpeace and WWF on the EC Working Documents on possible Ecodesign and Energy Labelling requirements for household white appliances*. http://www.ecostandard.org/downloads_a/env-ngos_eup_white_goods_28-11-08.pdf

GRAM-HANSEN K. (2008), “Heat comfort and practice theory. Understanding everyday routines of energy consumption”, *Proceedings of the SCORE Conference*, Brussels, March 2008, p. 53-72.

JELSMA J. (1999), “Philosophy meets design, or how the masses are missed (and revealed again) in environmental policy and eco-design”, in *Consumption, Everyday Life and Sustainability*, reader for ESF Summer School 1999, Lancaster university, Lancaster, Center for Science Studies, Lancaster University.

KAUFMANN JC. (1998) *Dirty linen : couples and their laundry*, Middlesex University Press, London.

LASCOUMES P. & LE GALÈS P. (2007), “Understanding Public Policy through Its Instruments— From the Nature of Instruments to the Sociology of Public Policy Instrumentation”, *Governance: An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*, 20(1), January, p. 1-21.

- LATOUR B. (2005), *Reassembling the social: an introduction to Actor-network theory*, New York, Oxford: University Press.
- LEHTONEN T.-K. (2003), “The Domestication of new technologies as a set of trials”, *Journal of consumer culture*, 3(3), p. 363-385
- PANTZAR M. (1997), “Domestication of Everyday Life Technology: Dynamic Views on the Social Histories of Artifacts”. *Design Issues*, 13, p. 52-65.
- PRIGNOT N. & WALLENBORN G. (2008), “Designing Uses of Energy-Using Products Through Participatory Scenarios”, *Proceedings of Sustainable Innovation 08. Future products, technologies and industries*. 27 & 28 October 2008, Malmö University, p. 213-218.
- RØPKE I. (2001), “New technology in everyday life – social processes and environmental impact”, *Ecological Economics*, 38, p. 403-422.
- SHIPWORTH M. (2008), “Central Heating : an Energy Efficient Technology Scripting Energy Inefficient Behaviour?”, 4S-EASST joint conference 2008, Acting with Science, Technology and Medicine, Rotterdam, the Netherlands, August 20-23.
- SHOVE E., WATSON M. and INGRAM J. (2007), “Products and practices, Selected concepts from science and technology studies and from social theories of consumption and practice”, *Design Issues*, 23(2), p. 3-16.
- SHOVE, E. (2003), *Comfort, Cleanliness and Convenience: The Social Organization of Normality*. Oxford: Berg.
- VHK (2005), *Methodology Study Eco-design of Energy-using Products*, Final Report.
- WALLENBORN G., (2008), “The new culture of energy : how to empower energy users ?”, in Rüdiger M. (ed.), *The Culture of Energy*, Cambridge Scholars Publishing, p. 236-253.
- WALLENBORN G., ROUSSEAU C., THOLLIER K. (2006), *Détermination de profils des ménages pour une gestion plus efficace de la demande d'énergie (CP50)*, Recherche menée pour la Politique Scientifique Fédérale Belge, PADDII.
- WILHITE H., NAGAKAMI H., MASUDA T., YAMAGA Y. & HANEDA H. (1996), “A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway”, *Energy Policy*, 24(9), p. 795-803.

Acknowledgements

This work has been supported by the Belgian Science Policy, in the framework of the ISEU project: <http://www.belspo.be/belspo/fedra/proj.asp?l=en&COD=SD/TA/07A>. We are grateful to our partners from ICEDD (Marco Orsini, Jeremie Vanhaverbeke) and from CRIOC (Catherine Rousseau) for helping us in this project.

[9] Les « compteurs intelligents » sont-ils conçus pour économiser l'énergie ?

in *Terminal* 106-107 (2011), pp. 87-100. Co-auteur : Frédéric Klopfert.

« Des factures sur la base de la consommation réelle sont établies à des intervalles suffisamment courts pour permettre aux clients de réguler leur consommation d'énergie. »¹

« Les atouts [des compteurs intelligents] pour le client : une facturation établie sur la base d'un relevé de consommation réel, des délais d'intervention réduits, une maîtrise de sa consommation d'énergie facilitée. »²

1. Introduction : un objet en voie de stabilisation

Les « compteurs intelligents » vont nous aider à faire des économies d'énergie. Ce genre de déclaration se retrouve dans la presse, dans des analyses coût bénéfiques et même dans les directives européennes. Pourtant c'est un point de controverse et l'on retrouve également des articles affirmant le contraire. Qu'en est-il ? Est-on dans le domaine de la croyance, sans aucune base scientifique ? Ou bien la notion de compteur intelligent est-elle encore trop peu précise pour déterminer son influence sur la consommation ?

Cet article vise à montrer que ces nouveaux compteurs pourraient contribuer aux économies d'énergie, mais à condition que cet objectif soit défini explicitement dans les cahiers de charge, et que ces compteurs s'insèrent dans les pratiques actuelles des ménages sans être intrusifs pour autant. Notre analyse se base sur des discours et des documents émis par une série d'acteurs intéressés au nouvel objet, notamment au travers de nombreuses conférences, de discussions informelles et plus formelles (interviews) et de recherches académiques. Nous sommes principalement en contact avec

¹ Directive 2006/32/CE du Parlement Européen et du Conseil du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques et abrogeant la directive 93/76/CEE du Conseil.

² <http://www.erdfdistribution.fr/electricite-reseau-distribution-france/publications/actualites/2009/compteurs-communicants--erdf-experimente-linky-en-indre-et-loire-et-dans-l-agglomeration-lyonnaise-601694.html>.

des acteurs belges et européens. Nous utilisons le canevas de la *sociologie de la traduction* afin de voir comment l'objet en construction est négocié par les différents acteurs.

Le compteur intelligent est un objet de controverse. Il est en voie de stabilisation, mais à des états d'avancement très divers dans les différents États membres, vu que chacun transpose, à sa manière, la directive européenne qui recommande l'installation de ces compteurs. En Italie où 90% des ménages sont équipés de CI, l'amélioration de la détection des fraudes et donc du contrôle des consommateurs a été un argument déterminant, alors qu'en Suède, où 99% des ménages sont équipés, c'est l'obligation de relevés fréquents et la dispersion de l'habitat qui étaient mis en avant, dans un but de protection des consommateurs³. Les autres pays en sont encore au stade de l'étude, du pilote ou en début de phase de déploiement. En Belgique, ce sont les Régions qui sont responsables de leur mise en œuvre, et les débats que cela suscite diffèrent d'une région à l'autre.

Le compteur intelligent est donc un objet qui n'est pas encore bien défini, et dont les fonctionnalités potentielles renvoient aux intérêts divergents des différents acteurs du réseau électrique : fournisseurs, gestionnaires de réseau de transport (GRT), gestionnaires de réseau de distribution (GRD), régulateurs, États, industries des TIC et de compteurs en particulier, consommateurs, etc. Afin d'inclure cette controverse dans le développement durable, il convient d'ajouter d'autres acteurs à cet espace de négociation et qui traduisent les questions de réduction de la consommation d'énergie : les associations environnementales (via la question du changement climatique) et les associations de consommateurs (via la question des coûts). Nous allons voir que les négociations qui entourent la construction du nouvel objet « compteur intelligent » révèlent que certains acteurs sont plus forts que d'autres, et déterminent ainsi la manière dont les compteurs sont conçus. Les associations de consommateurs et d'environnement sont clairement des acteurs faibles de la négociation en cours : ils n'ont pas accès aux données techniques indispensables pour pouvoir participer efficacement au débat. Notons que l'approche technico-économique, relayée par des analyses coûts-bénéfices incomplètes, ne favorise pas l'utilisation de cette nouvelle technologie dans une logique de développement durable.

³ ERGEG (2009), Status Review on Regulatory Aspects of Smart Metering (Electricity and Gas) as of May 2009, Ref: E09-RMF-17-03, 19 October 2009.

Le compteur intelligent, un objet souple

Suite à la directive 2003/54/CE⁴, le marché de l'électricité est libéralisé dans l'Union Européenne. Mais cette libéralisation n'est pas complète : seuls les producteurs et les fournisseurs se positionnent dans un marché concurrentiel et ont donc comme objectif de maximiser leur bénéfice. La distinction entre la production, transport, distribution, fourniture et régulation, étant issue de la même directive est commune aux États, bien qu'en pratique, des participations capitalistiques entre certaines entités rendent la séparation plus floue.

La directive de 2006/32/CE⁵ spécifiquement orientée vers l'efficacité énergétique des utilisations finales de l'énergie a donné le coup d'envoi du débat sur les « compteurs intelligents » (CI) : les États membres doivent veiller à ce que « les factures établies [...] soient fondées sur la consommation réelle d'énergie et présentées de façon claire et compréhensible. [...] Des factures sur la base de la consommation réelle sont établies à des intervalles suffisamment courts pour permettre aux clients de réguler leur consommation d'énergie ».

Notons que cette directive ne définit pas le CI et laisse la définition « intervalles suffisamment courts » à l'appréciation des États. Si l'intervalle est de l'ordre du mois, cela revient en pratique à imposer le relevé à distance et donc les CI. En Suède, c'est l'obligation légale nationale de faire des relevés mensuels à partir du 1^{er} juillet 2009 qui est la cause du déploiement massif des CI. Au travers de la transposition de la directive, l'État peut donc jouer un rôle majeur.

Il est également intéressant de noter que la directive, par l'introduction du concept de « Sociétés de Service Énergétique » et de nouveaux instruments de motivations tels les certificats blancs, reconnaît l'importance de l'éducation et des comportements des utilisateurs pour maîtriser la demande d'énergie.

Dans une directive plus récente⁶, l'UE oblige les États membres à veiller « à la mise en place de systèmes intelligents de mesure qui favorisent la participation active des consommateurs au marché de la fourniture d'électricité. La mise en place de tels systèmes peut être subordonnée à une évaluation économique à long terme de l'ensemble des coûts et des bénéfices pour le marché et

⁴ Directive 2003/54/CE du Parlement Européen et du Conseil du 26 juin 2003 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité et abrogeant la directive 96/92/CE.

⁵ Directive 2006/32/CE op. cit.

⁶ Directive 2009/72/CE du Parlement Européen et du Conseil du 13 juillet 2009 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité et abrogeant la directive 2003/54/CE.

pour le consommateur. [...] Si la mise en place de compteurs intelligents donne lieu à une évaluation favorable, au moins 80 % des clients seront équipés de systèmes intelligents de mesure d'ici à 2020. ».

Cependant, aucune directive ne définit clairement ce qu'est un CI. Bien que la notion de comptage soit très claire, l'adjectif « intelligent » est abusif, le compteur n'ayant à priori besoin d'aucune intelligence. La terminologie de « compteur intelligent » provient d'une traduction incorrecte de l'Anglais « smart metering » qui indique que l'intelligence se situe au niveau du processus de mesure et non pas dans le seul appareil de mesure, ce qui sous-entend l'intégration dans un réseau communicant. La traduction par « compteur communicant » serait donc plus appropriée.

Pour cet article, nous prendrons la définition suivante : un CI est un compteur de consommation électrique, connecté au réseau de distribution basse tension, destiné aux habitations privées, et qui dispose d'un moyen de télécommunication bidirectionnel vers un centre de traitement d'information, appelé gestionnaire de CI (GCI). Le GCI pourrait être une entité indépendante, mais, en Belgique comme dans la majorité des pays de l'Union, cette tâche est du ressort des GRD. Par conséquent, aucun relais vers le consommateur (afficheur dans la salle de séjour par exemple) n'est obligatoire, la bidirectionnalité concernant uniquement la communication entre le compteur et le CGI.

2. Intérêts divergents autour du compteur intelligent

La libéralisation des marchés de l'énergie, plus ou moins prononcée selon les États membres, a multiplié les acteurs de l'énergie. Afin de montrer comment la construction en cours des CI est la traduction d'intérêts multiples, parfois divergents, de ces différents acteurs, nous présentons d'abord les acteurs concernés. Nous verrons ensuite comment ces intérêts se cristallisent dans certaines fonctionnalités des compteurs.

Les producteurs

Les gros producteurs sont peu concernés par les CI, contrairement aux micro-producteurs domestiques (photovoltaïque et cogénération) qui vendent actuellement l'électricité produite au même prix que l'électricité achetée. La mesure séparée de la production et de la consommation,

permettrait de différencier ces prix, éventuellement même en fonction de plages horaires, et donc de modifier la rentabilité de certaines installations de micro-production.

Les GRT

Parmi les multiples missions des GRT, c'est surtout le maintien de l'équilibre entre les injections et les prélèvements d'électricité qui pourrait être facilité par l'introduction des CI. L'augmentation des échanges transfrontaliers, favorisés par les programmes d'interconnexions européennes⁷, la bourse d'échange BELPEX, et les productions importantes d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables, rend l'équilibrage de plus en plus difficile. Le manque de connaissance des petites productions distribuées et connectées directement au réseau de distribution complique fortement cette tâche. C'est donc pour la capacité des CI à fournir les données, en temps réel, sur les productions d'électricités dans leur zone de réglage que les GRT sont intéressés par les CI, dans la mesure où ces fonctionnalités sont présentes.

Les GRD

Les GRD ont parmi leurs nombreuses missions celles d'effectuer les relevés, de procéder aux ouvertures, fermetures et renforcement des compteurs et d'assurer aux ménages la possibilité de changer de fournisseur. Ces missions peuvent être grandement facilitées et automatisées par les fonctionnalités de « relevé à distance et de contrôle d'accès ». De plus, toute la gestion opérationnelle des compteurs (fourniture, placement, maintenance, financement, etc.) sont de leur ressort. C'est donc tout naturellement que les GRD sont un des acteurs les plus impliqués dans le déploiement des CI. Notons que l'introduction des CI transforme les emplois des GRD : diminution de travail à faible qualification, apparition de quelques postes à plus haute qualification.

Les fournisseurs

Les fournisseurs sont grossistes et vendeurs au détail d'énergie. Ils signent des contrats d'achat avec les producteurs et de fourniture aux ménages. Etant dans un marché concurrentiel, ils ont des objectifs commerciaux, malgré certaines obligations de service public.

Leur principale difficulté réside dans le fait que leurs achats se font la veille de la fourniture et sur une base quart-horaire. Dans le cas d'un déséquilibre, quart d'heure par quart d'heure, ils

⁷ Décision n° 1364/2006/CE du Parlement Européen et du Conseil, du 6 septembre 2006, établissant des orientations relatives aux réseaux transeuropéens d'énergie.

doivent corriger ces déséquilibres en achetant ou en vendant de l'électricité le jour de la fourniture à un prix moins prévisible et généralement moins favorable, ou payer le coût du déséquilibre à des prix très élevés. Afin d'éviter les incertitudes et les pertes financières liées à ces déséquilibres, les fournisseurs sont particulièrement intéressés de connaître plus finement les courbes de charge des ménages.

En dehors de l'aspect technique de relevé de la courbe de charge, les fournisseurs doivent attirer de nouveaux clients et éviter le départ de clients existants. Toute fonction des CI permettant d'améliorer le service à la clientèle (exactitude des factures, comparaisons, services énergétiques, tarification mieux adaptée aux clients) est donc perçue comme un avantage concurrentiel. Outre les fonctions de relevés à distance, la possibilité d'implémenter des tarifications complexes peut s'avérer être un outil commercial puissant, même si cela devait aboutir à une complexité similaire à celle que l'on retrouve dans le marché de la télécommunication.

Finalement, d'un point de vue plus coercitif, les fonctions de changement de puissance du compteur et la possibilité de passer à distance en mode 'compteur à budget' peut aider les fournisseurs à réduire les impayés et les retards de paiements.

Les consommateurs

Tout un argumentaire a été développé pour indiquer l'intérêt des CI pour les consommateurs : diminution de la consommation, fin des factures intermédiaires estimées, diminution des erreurs, facilité lors d'un déménagement ou lors d'un changement de fournisseur, tarification mieux adaptée, concurrence accrue entre les fournisseurs et donc, en fin de compte, diminution de la facture énergétique. Une étude faite en Belgique⁸ montre cependant que la facture ne peut diminuer sans une économie d'énergie significative. Au contraire même, si les coûts liés aux CI sont répercutés sur les consommateurs, la facture pourrait augmenter.

D'un autre côté, des associations s'élèvent contre les CI pour différentes raisons. Au premier chef, la question de la protection privée : les CI pourraient effectivement permettre d'observer certains comportements et entraîner de nouveaux conflits (enfants qui vont se coucher tard quand les parents sont absents) ou des intérêts commerciaux (une lumière qui s'allume souvent la nuit est

⁸ KEMA (2008), "Resultaten van een kosten-batenanalyse naar de invoering van 'slimme meters'" in Vlaanderen, July 2008, disponible sur <http://www.vreg.be/vreg/documenten/rapporten/RAPP-2008-10.pdf>, KEMA, Cost-benefit Analysis of the introduction of smart meters in the Brussels Capital Region, 6 April 2009.

une bonne cible pour les vendeurs de somnifères). En ce sens les CI participent à l'instauration d'une société de surveillance. En outre, la propriété des données envoyées au GCI n'est pas clairement établie.

Les États membres

Les gouvernements ne sont pas directement concernés par les CI, mais ils doivent s'assurer que le statut de « client protégé », les obligations de service public et la protection de la vie privée soient garantis. Les gouvernements chargent les régulateurs de superviser ces aspects.

En tant que responsables de l'environnement et concernés par les aspects de croissance de la dépendance énergétique, les gouvernements devraient cependant s'intéresser activement aux aspects d'économie d'énergie que pourraient apporter les CI. Mais au-delà des déclarations de bonne intention c'est aujourd'hui peu le cas.

Les industriels

L'installation de 200 millions de compteurs en Europe d'ici 2020 représente un marché estimé à 40 milliards d'Euro⁹. De plus, la durée de vie des CI étant estimée entre 10 et 15 ans, le marché de remplacement devrait atteindre au moins 2 milliards par an. Les producteurs de CI seront donc les grands gagnants de cette « révolution informatique » des réseaux électriques. Leur intérêt consiste donc à présenter les CI comme nécessaires et utiles.

3. Les 5 familles de fonctionnalités des compteurs

Les CI vont transformer la gestion des réseaux électriques en leur superposant des réseaux d'information. Ce qui était auparavant confié à des personnes (relevé des compteurs par exemple) va être maintenant délégué à un système technique. L'ampleur de cette délégation, notamment vers des systèmes plus ou moins « actifs », demeure cependant incertaine. Dans la mesure où les CI ne sont pas des objets stabilisés, les acteurs s'en font des représentations hétérogènes. Nous allons voir comment les différents acteurs cherchent à greffer différentes fonctionnalités aux compteurs, qui correspondent à leurs intérêts.

⁹ ESMIG (2009), "From Standards to Interoperability", présentation de Thomas Schaub au ERGEG 2009 Workshop on Smart Metering, Brussels.

Au vu de la littérature technique, des organismes normatifs, des projets existants, des critiques, on peut grouper les fonctionnalités que peuvent remplir les CI en 5 familles. Les quatre premières familles conçoivent le CI comme résolument tourné vers le réseau « extérieur » à l'habitation. Nous les avons classées par ordre croissant d'« intelligence », c'est-à-dire d'intervention active de la part du réseau. La cinquième famille est tournée vers le réseau « intérieur », vers les consommateurs domestiques eux-mêmes.

Le relevé à distance et le contrôle d'accès

Le relevé à distance est la fonction de base admise par tous les acteurs. Elle permet au gestionnaire de CI (GCI) de lire le ou les index lorsque nécessaire. Le CI peut maintenir des index distincts pour des tranches horaires différentes (tarifs de jour, de nuit, du week-end, pointes, etc.).

Cette lecture automatisée permet l'établissement de factures plus fréquentes sur la base de consommation réelle, ainsi qu'une lecture ponctuelle lors d'un déménagement ou d'un changement de fournisseur.

Les CI étant en communication bidirectionnelle avec le GCI, trois autres fonctionnalités peuvent être facilement implémentées :

- L'« ouverture » et la « fermeture » du compteur à distance.
- La modification à distance de la puissance électrique maximale.
- La commande à distance du mode débit ou crédit. La majorité des compteurs électriques actuels sont dits « à crédit », car le paiement de la consommation se fait après le relevé. Dans le compteur à budget, ou compteur « à débit », la consommation est payée par le client avant la consommation.

Les fonctionnalités précédentes, si elles ne sont pas révolutionnaires puisqu'existantes aujourd'hui, permettent de rendre ces opérations plus rapides et probablement plus fiables.

Par contre, ce qui suit sont les nouveautés qui peuvent être implémentées et qui sont au cœur du débat.

La tarification

En Belgique, comme ailleurs, il existe différentes tarifications : le simple-horaire où le prix du kWh est le même quel que soit le moment de la consommation et le système bi-horaire où il existe un prix pour le kWh consommé la journée et un autre prix, nettement moins cher, pour les kWh consommés la nuit ou le week-end. Cette tarification a été introduite pour inciter les consommateurs à déplacer certaines consommations en dehors des pointes. Techniquement, ces tarifications imposent l'utilisation de compteurs avec plusieurs index (jour/nuit).

Les CI étant configurables, ils ne sont pas limités en nombre d'index et permettent, de ce fait, l'introduction des nouvelles tarifications plus complexes, avec des plages horaires plus nombreuses. On parle de tarification du type Time-of-Use. Mais on peut aller plus loin encore avec une tarification dite dynamique où le prix du kWh serait lié au prix de l'électricité sur le marché de gros. Ces aspects intéressent les fournisseurs, mais complique la tâche des GRD. Une telle fonctionnalité pose la question des moyens d'information aux consommateurs, dont une majorité risque de se perdre dans la complexité des tarifications.

La tarification peut également avoir une influence sur la production d'électricité locale. Actuellement, en Belgique, pour les particuliers, l'électricité produite est déduite de l'électricité consommée, ce qui revient à la vendre au même prix que l'électricité achetée. Les CI équipés d'un système de comptage distinct pour la production et la consommation offriront un moyen simple de changer cette logique. Ils permettront en outre de mettre en place une tarification pour le kWh produit dépendant d'une plage horaire, ce qui peut influencer la rentabilité de certaines installations telles que les panneaux photovoltaïques.

Le contrôle automatique des charges

Plus les systèmes de tarification seront complexes, moins les consommateurs seront capables ou auront envie de suivre le prix de l'électricité avant de démarrer un appareil énergivore tel qu'un lave-linge ou un séchoir. C'est alors que l'automatisation devient nécessaire. On parle de « load control », ou couplage des CI avec la domotique, lorsque qu'il y a délégation au CI du moment d'enclenchement d'un appareil. Si le critère est financier (tarification), ce « load control » intéressera essentiellement les fournisseurs et les consommateurs. Ces derniers devront cependant accepter de déléguer une partie de leurs décisions pour des gains financiers probablement peu importants et au

prix d'un investissement technologique non négligeable. Cela requiert de surcroît une modification profonde de l'imaginaire associé à l'usage de l'électricité (aujourd'hui toujours disponible).

L'intégration dans le Réseau Intelligent

Il est également possible de déléguer le pouvoir de décision du CI vers le réseau électrique en fonction de considérations techniques (charge du réseau). C'est la logique du « Smart Grid ». Dans ce cas de figure, le « réseau intelligent » (*smart grid*) connaît en détail l'état de la production et la consommation en tout point et utilise le CI comme relais pour enclencher et déclencher des charges. Au prix d'une complexité accrue, ce système permet une régulation plus fine que la régulation uniquement basée sur des tranches horaires, puisqu'elle fait intervenir la topologie et l'état réel du réseau.

Dans cette optique, certaines charges domestiques (surgélateurs, machines à laver, sèche-linge, batteries, etc.) pourront être contrôlées par le réseau, avec accord du consommateur, de manière à réduire les surcharges et participer ainsi activement à la régulation du réseau.

L'utilisation des CI en tant qu'élément du réseau intelligent peut encore aller plus loin, en l'intégrant comme un appareil de mesure transmettant des données spécifiques à la gestion technique optimale du réseau (microcoupure, pointes de tension, harmoniques, etc.).

Outre l'intérêt évident des GRD pour ces nouveaux réseaux, il s'agit là d'un nouveau projet industriel qui intéresse énormément des investisseurs de tous ordres : informatique, véhicules électriques, énergies renouvelables, etc. Les conférences à propos des *smart grids* se multiplient et se présentent comme le graal d'une « nouvelle croissance » ou d'une « troisième révolution industrielle »¹⁰. Ce projet est aujourd'hui conçu d'un point de vue purement technologique, et n'interroge pas les modes de consommation — qui pourtant vont cependant devoir évoluer drastiquement.

L'utilisation rationnelle de l'énergie (URE)

Finalement, le CI peut également servir à fournir des informations utiles au consommateur de manière à l'aider à gérer sa consommation, tel l'indicateur de consommation instantané de carburant dans les voitures qui « apprennent » au conducteur à conduire de manière moins énergivore.

¹⁰ Voir à ce sujet Jeremy Rifkin « European dream not dead yet », entretien avec EurActiv.com, 16 June 2010.

Le CI étant généralement installé dans les caves et étant de ce fait peu accessible à l'utilisateur, il sera souvent nécessaire d'ajouter un ou plusieurs affichages complémentaires dans des endroits plus accessibles aux utilisateurs. Ces « affichages domestiques », reçoivent les données du CI, le plus souvent par une communication sans fil, et les présentent à l'utilisateur sous différentes formes : consommation instantanée ou cumulée, histogrammes, etc. Une autre approche consiste à transférer les données de consommation vers un appareil existant (ordinateur ou téléphone portable), permettant à l'utilisateur de profiter d'une présentation plus complète et personnalisée.

Notons que si les compteurs ne sont pas explicitement conçus pour contribuer à transformer la culture de l'énergie, ils pourraient principalement servir à maintenir les usages énergivores à moindre coût. Un consommateur pourrait en effet apprendre à consommer l'électricité aux moments où elle est bon marché, et même accroître sa consommation sans que sa facture n'augmente (effet rebond).

4. Un potentiel d'économie d'énergie négligé

L'analyse des motivations des différents acteurs montre une nette divergence entre leurs intérêts, qui se cristallisent dans les différentes fonctionnalités potentielles des CI. On peut supposer que chaque pays trouvera un compromis qui sera la résultante du rapport de force des acteurs. Le plus remarquable toutefois est l'absence d'acteurs défendant spécifiquement les économies d'énergie, alors que ce point est souvent mis en avant dans l'argumentation pro-CI¹¹. Comme nous allons le voir, l'intérêt d'économiser l'énergie — qui est dans le cas des CI la traduction d'un souci environnemental et socioéconomique — n'est représenté par aucun des acteurs lors des discussions qui portent sur les CI.

La consommation d'énergie des ménages

Différentes études prospectives¹² prédisent une croissance de la consommation électrique des ménages. Pour le secteur résidentiel, le régulateur belge (CREG) prévoit une croissance entre 0,3% et 1,14% par an en moyenne sur la période 2005-2019. Le bureau fédéral du plan (belge) affirme cependant que c'est dans le secteur résidentiel, que le potentiel d'économie d'électricité est le plus

¹¹ ERGEG (2009), op. cit.

¹² Bureau du Plan (2004), « Demande maîtrisée d'électricité: Elaboration d'une projection à l'horizon 2020 », octobre, www.plan.be ; CREG (2005), « Programme indicatif des moyens de production électricité 2005-2014 », 20 janvier, www.creg.be.

important : dans la projection avec maîtrise de la demande, les économies de ce secteur pourraient atteindre plus de 50% en 2020. L'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils est cependant limitée par les aspects comportementaux suivants : habitudes et pratiques énergivores quotidiennes, manque de connaissance des points de consommation et mauvaise gestion ou maintenance d'équipement existants.

S. Darby et C. Fischer ont respectivement analysé 39 et 26 études sur les économies d'énergie réalisables à l'aide de systèmes de rétroaction tels les CI. La réduction de la consommation varie dans des proportions importantes en fonction des conditions d'expérimentation. Cependant, les auteurs considèrent respectivement que la fourchette 5%-12% et 5%-15% de potentiel d'économie d'énergie est réaliste, lorsqu'on couple un système de feedback direct, tel un affichage intelligent, avec une sensibilisation et une formation minimale du consommateur¹³. D'un autre côté les économies potentielles d'énergie ne sont pas fort valorisées dans les études censées aider à prendre les décisions concernant les CI. Les analyses coûts/bénéfices réalisés aux Pays-Bas et en Belgique considèrent qu'un afficheur n'entraînera qu'une diminution de consommation comprise entre 0,5% et 1,5%¹⁴.

Le manque d'expérimentations et de résultats publics rend incertaine la place des CI dans les politiques de réduction de la consommation. Ce n'est toutefois pas une raison pour ne pas les intégrer explicitement dans ces politiques, puisque cette incertitude n'est pas plus radicale que bien d'autres espoirs placés dans les CI.

L'Utilisation Rationnelle de l'Energie perdue parmi les considérations technico-économiques

Dans la sphère politique, que ce soit au niveau de la Commission Européenne ou des gouvernements nationaux et régionaux, l'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) est une préoccupation majeure, tant pour des raisons de « développement durable » que de sécurité d'approvisionnement énergétique ou de considérations purement économiques. Mais le politique a délégué le suivi des marchés aux régulateurs dont la mission « n'est que » de surveiller le bon fonctionnement du marché libéralisé (production, fourniture) et régulée (GRD/GRT).

¹³ Darby, S. (2006), "The effectiveness of feedback on energy consumption. A review for DEFRA of the literature on metering, billing, and direct displays", Retrieved 22/03/07 from <http://www.defra.gov.uk/environment/energy/research/pdf/energyconsump-feedback.pdf>. Fischer C. (2008), "Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?", *Energy Efficiency* 1:79-104.

¹⁴ KEMA (2008), op. cit.

Les aspects de développement durable et d'opportunités d'économie d'énergie ne sont pas au centre des préoccupations des GRD, puisque leur mission est de gérer le réseau de distribution de manière technico-économique. Ils sont naturellement intéressés par tout ce qui concerne les relevés à distance, le contrôle d'accès et certains aspects du réseau intelligent.

Les fournisseurs d'électricité et les fabricants de compteurs évoluent, pour leur part, dans un environnement libéralisé et concurrentiel. Leurs objectifs sont d'ordre économique.

Comment s'étonner dès lors que, malgré la supervision des régulateurs, les projets pilotes mis en place par les GRD, fournisseurs et fabricants de CI négligent les aspects URE qui concernent essentiellement les consommateurs ? Ces derniers ne sont d'ailleurs pas représentés dans ce genre d'études¹⁵.

La prédominance de l'aspect technico-économique peut également se constater par l'existence d'une littérature abondante abordant les aspects techniques (infrastructure, communication, flux de données, etc.) et économiques (analyses coûts-bénéfices, concurrence, etc.), et par une faible quantité d'analyses sociales (impact des tarifications), environnementales (tarifications liées aux énergies renouvelables ou autres aspects environnementaux) et, surtout, d'optimisation des affichages intelligents dans un objectif d'URE.

Les analyses coûts-bénéfices reflètent une vision technico-économique qui ne tient pas compte des facteurs humains qui sont pourtant déterminants lorsque les pratiques sont en jeu. Si ces analyses se fondent sur des taux faibles d'économie d'énergie, ce n'est pas uniquement par la non représentation des consommateurs dans les études, mais surtout par la difficulté de quantifier les effets que pourraient avoir un affichage intelligent s'il est conçu, dès le départ, comme outil de motivation et d'éducation. Ce qui n'est pas chiffrable n'existe pas dans l'espace de négociation tel qu'il est construit actuellement. Or les transformations de pratiques, nécessaires pour réduire la consommation d'énergie, ne peuvent être abordées par les chiffres et, surtout, leur intérêt n'est représenté par aucun acteur fort.

¹⁵ Pour une analyse de la représentation des usagers dans la mise en œuvre d'une directive européenne ("ecodesign" en l'occurrence), voir N. Prignot N. & G. Wallenborn (2009), "Standardisation of practices and representations of users in the ecodesign Directive", ECEEE Conference, 1-6 juin 2009, La Colle-sur-Loup, France.

L'utilisation des CI dans une optique URE

La réduction de la consommation d'électricité est avant tout un problème de comportement humain et de normes sociales, que ce soit lors de décisions ponctuelles d'investir dans des équipements moins énergivores ou par des changements de pratiques quotidiennes. Dans les deux cas, il faut agir sur la motivation, l'éducation et l'information, mais aussi modifier les infrastructures et appareils. Dans cette perspective, les CI pourraient avoir un rôle à jouer, mais pas tels qu'ils sont conçus actuellement.

Certaines études¹⁶ expliquent la variabilité des taux d'économies d'énergie par la multitude de paramètres à prendre en compte : motivation, formation, catégorie sociale, revenus, habitudes, connaissances, cloisonnement des pratiques, âge des membres du ménage, etc.

Wood (2007) énumère une série de motivations que les utilisateurs peuvent avoir pour réduire leur consommation : financier, énergétique, environnemental (équivalence CO₂), auto-compétition, positionnement par rapport à la moyenne du voisinage ou par rapport à des ménages « similaires ». L'ordre d'importance est variable en fonction du milieu socioculturel et socio-économique.

Ces motivations peuvent être induites ou renforcées par l'introduction d'instruments politiques : couplage à des programmes de sensibilisation, subsides, fiscalité ou par des techniques plus innovantes. La culture de l'énergie ne pourra cependant changer qu'avec l'adoption de nouvelles pratiques. Un retour d'information (feed-back), au moins dans la journée, sur les pratiques de consommation d'énergie peut y contribuer.

Outre la rapidité, l'information renvoyée à l'utilisateur doit être simultanément compréhensible et utile à celui-ci afin qu'il puisse comprendre sur quels éléments il peut agir. La gamme d'actions peut-être vaste en passant par la diminution des consommations de veille, les consommations parasites souvent mal identifiées, l'entretien de certains équipements, l'installation d'horloges pour le contrôle des circulateurs, etc.

Finalement, le type d'information fourni doit s'adapter au niveau de connaissance de l'utilisateur pour ne pas produire une perte d'intérêt généralement observable après quelques mois.

¹⁶ Par exemple : Wood (2007), *Energy-use information transfer for intelligent homes: Enabling energy conservation with central and local displays*, *Energy and Buildings* 39:495–503 ; et Darby (2006), op. cit.

Mais le défi principal est de garantir la pérennité des changements de pratiques une fois acquis. Et cela ne peut se faire que si le mouvement est général, c'est-à-dire que les économies d'énergie deviennent un enjeu véritablement collectif.

5. Conclusions

Les économies d'énergie sont dans les discours de presque tous les acteurs et repris comme l'un des avantages les plus importants des CI. Cependant, ces derniers sont, pour l'instant, des objets en construction dont les contours doivent encore être clairement définis tant au niveau européen que national.

Nous avons vu que les intérêts défendus par les différents groupes d'acteurs sont traduits par des fonctionnalités différentes des CI : gestion à distance du compteur, possibilités de tarifications variées, contrôle automatique de charges, intégration dans les réseaux intelligents et, finalement, éducation du consommateur, reconnue comme fondamentale pour la réalisation d'économie d'énergie.

Au-delà d'une dénonciation de l'écoblanchiment (« greenwashing »)¹⁷, certes présente chez certains acteurs, la manière même dont est construit l'espace de négociation qui préside à la phase de définition des fonctionnalités des CI, ne permet pas de donner toute son importance à la question de la consommation d'énergie. Les seuls acteurs véritablement concernés par ce point, les ménages et ceux qui traduisent la question climatique (l'État et/ou les régulateurs), demeurent des acteurs faibles, insuffisamment représentés dans les projets en cours, essentiellement aux mains des industriels et des gestionnaires de réseaux.

Nous n'avons pas parlé des associations environnementales, et pour cause. Personne en effet ne représente spécifiquement ces intérêts lors des discussions sur les nouvelles normes techniques. Et si un représentant de l'environnement (ou du climat) pouvait être présent, encore faudrait-il qu'il ait un certain pouvoir pour se faire entendre. Les acteurs qui possèdent les données et dirigent les processus de normalisation ont aujourd'hui le pouvoir de dire ce que seront les compteurs intelligents. Etant donné le poids des lobbys industriels auprès de la Commission, il n'est pas

¹⁷ Stratégie par laquelle une organisation prétend faire des efforts pour réduire ses impacts environnementaux (ou celle d'autres secteurs) alors qu'elle ne fait rien ou pas grand chose. Voir <http://sinsofgreenwashing.org>.

étonnant que le point de vue des consommateurs soit absent de la négociation puisqu'aucune obligation institutionnelle ne contraint à consulter leurs représentants.

L'oubli des aspects sociaux et humains est caractéristique des projets technologiques pour lesquels la modification des modes de consommation passe avant tout par le développement de nouveaux objets, sans se soucier de leur appropriation par les usagers. Les CI sont aujourd'hui construits comme des charnières dans la gestion rationnelle des réseaux électriques mais pas pour modifier les pratiques des ménages. Or nous avons vu que si les CI ne sont pas encadrés par des mesures de sobriété, on peut s'attendre à un effet rebond de la consommation. C'est parce que, comme dans toute négociation de ce genre, le résultat final dépend du rapport des forces entre les acteurs, que les CI ne seront pas conçus pour économiser l'énergie, malgré le fait que, relayés par un afficheur ou des services énergétiques bien conçus, ils pourraient constituer un dispositif utile dans la transformation de la culture de l'énergie.

[10] Household Appropriation of Electricity Monitors

in *Journal of Consumer Studies*, 35 (2011) 146–152. Co-authors : M. Orsini, J. Vanhaverbeke.

Abstract

In the perspective of smart grids, “smart” electricity meters are distributed in European households. When households possess an immediate feedback on their consumption, it is usually stated that they can save between 5% and 15% of their electricity. How households learn to reduce their consumption is hardly ever addressed. In order to know whether 15% saving is a limit or not, it is necessary to understand what people do and learn with the use of an electricity monitor. This question is related to the way the societal energy transition could be achieved. Electricity is invisible, but it is produced, transported and consumed through material devices. This paper explores the dimension of material culture in household energy consumption, through the introduction of electricity monitors in different types of households. Through a social experiment, we investigate both how households appropriate an electricity monitor and what they learn when using it. The paper addresses the question of appropriation of such monitors and how it is related to different dimensions: comfort, values, knowledge, skills, material culture. On the basis of an original protocol that intends to interfere as little as possible with users, we installed different meters in 21 Belgian households (including low-income households) and collected data on energy consumption, material culture (appliances, heating system, etc.), different representations of energy, energy-using practices, and the effects induced by the introduction of the monitor. We have observed that the meter can change electricity perception, but that only households already interested or involved in energy savings are willing to use and learn with the monitor. We suggest that these devices should accompany a deeper transformation of the ‘culture of energy’ but they have to become much ‘smarter’ if their aim is to support more sustainable energy consumption patterns.

1. Introduction

Real-time displays of electricity consumption (simply referred to as “smart meters” or electricity monitors) are now marketed toward households. These monitors show either the global electricity consumption of a household or the individual consumption of an appliance. They are announced as helping to “reduce electricity bills and live in a greener house.” Yet that remains a point of dispute as some articles claim otherwise (Marvin et al., 1999; The Climate Group 2008; Martiskainen and Ellis, 2010). The smart meter is not a stabilised technological object as it is yet a topic of controversy. There are at least two ways of looking at the “smart meter.” Firstly, it is seen as part of the envisioned smart grids. Secondly, it is conceived as an instantaneous feedback device providing useful information to consumers. Let us notice that these two perspectives do not exclude each other.

In the first case, smart meters are electricity meters with advanced functions. They can detail consumption more precisely than a conventional meter and can communicate via some network with the energy provider or the grid manager. Saving energy is then delegated to the energy provider who is able to establish variable tariffs, and is even able to switch off and on some equipment (washing machines, dryer, refrigerators) to ‘shave’ peak demand in electricity. The idea of variable tariffs, namely electricity cost that could vary according to the time of delivery, requires well educated consumers, who would be able to follow the electricity cost variation and change their behaviours accordingly.

In the second case, the ‘smart meter’ is a real-time display that is supposed to help users monitor electricity consumption of appliances and identify the most expensive uses of electricity. These monitors are of two types. Simple counters to plug into the socket of an appliance to measure its electricity consumption and meters connected to the main incoming power of a house/flat to measure its total electricity consumption. These devices are more and more common and they are made available to the large public in shops or through the Internet. They are announced as tools for reducing energy bills and promoting greener behaviour (COM 2006). The argument goes as follows: By providing real-time and more detailed information about energy practices, the monitors should help in motivating consumers to reduce demand as they see how much energy they are using – and money they are spending on energy. The energy infrastructure has been built to make energy

consumption invisible as those actions previously made by the human body are increasingly being delegated to machines.

The idea of a meter is to add a device to the infrastructure that could make electricity use visible. The argument is supported by studies on consumption feedback that show that providing real-time feedback regarding electricity consumption can result in energy savings typically between 5% and 15%, depending on a number of feedback characteristics (Darby 2006a, Fischer 2008). However, the issue of how households are recruited for the experiments and the question of what they learn is hardly addressed. Furthermore, the overall experimental conditions are diverse and not always mentioned (*e.g.*, duration of the experiment, design of the feedback, help and advice from the researchers, price of the monitor).

In this paper we aim at understanding what consumers can learn when they use an electricity monitor and how they react to the introduction of a new appliance which is supposed to change their behaviours. The next section outlines the supposed importance of electricity monitors in transforming the ‘culture of energy’. Section 3 describes the theoretical background which informs the research questions. The original interdisciplinary methodology is detailed in section 4. Section 5 presents the results of the experiment, in categorizing households according to their electricity consumption behaviour. Finally, section 6 draws some conclusions about the hypothetical role that monitors could play in changing energy-related practices.

2. The role of electricity monitors in the culture of energy

In order to understand how electricity monitors could help households to reduce their consumption, we summarize some elements that shape the current context of energy consumption.

- Household electricity consumption is steadily increasing in Europe (increase of 21% between 1990 and 2007 in the EU-27). This increase is explained by several trends: new appliances, households are increasingly equipped, more households. Households own more and more appliances and the share of small appliances in the total electricity consumption is now higher than 50%. As the average household size drops, the number of households rises, along with the number of appliances used.

- The share of electricity in the whole household energy budget is increasing, because energy consumption for heating is either stabilizing or decreasing. That means that electricity consumption is becoming a more urgent issue.
- Energy networks are built to add new activities and appliances easily. The general default setting of energy networks is conceived in such a manner that it is easier to consume more than it is to save.
- Consumption and schedule organisation are increasingly individualised, depending on personal appliances.
- Most people do not know their energy consumption.
- Households do not consume energy (Wilhite *et al.*, 1996): integrated in daily practices the different appliances provide useful services, and energy comes about only with the (monthly or yearly) bill. Daily practices are routinised activities, embedded in stabilised technology and infrastructure. The action of consumption and decisions about it have been delegated mostly to objects (thermostats, programmes, etc.).
- Households' practices are particularly difficult to analyse. Conflict or controversies in households are not public. Ethnographic methodologies have to be developed in order to understand what is going on in these private spaces.

These elements of the current 'culture of energy' help to explain that efficiency gains borne by new appliances are more than absorbed by the proliferation of new energy-related practices. This culture rests on the idea of energy that is invisible, abundant, and cheap and used by consumers who are passive and ignorant. The transition towards a new culture, or a so-called socio-technical regime, requires change in perception towards energy. Users need to be conscious that energy is precious, and they are able to transform their practices accordingly. The development of an advanced metering infrastructure and feedback technologies is then presented as the opportunity to empower users (in our case, households, users in the residential sector) to reshape their energy using practices. Yet the question remains how an electricity monitor could activate the transition towards new, more sustainable, practices.

The ability to provide electricity feedback is the main rationale behind the drive for smart meters. They are expected to lead to electricity savings, because they allow consumers to

monitor their energy use in real time rather than looking at their electricity bill months later (Abrahamse *et al.*, 2005; Jensen, 2008; Lockton *et al.*, 2008). Besides companies and the State, households declare their interest for these devices. For instance, we have observed in focus groups and in a quantitative survey that, when asked, people are rather interested in getting adapted information about their energy consumption (Wallenborn *et al.*, 2006). In our survey in 2005, we observed that 69% of Belgian people state that they would pay attention to energy consumption if their appliances displayed this consumption. So, at first view, the different actors are interested in energy monitors. However the results of our study, and those of Hargreaves *et al.* (2010) — published during the writing of this paper — show that an energy monitor could be a falsely good idea. In order to understand this, we need to introduce the theoretical framework that has informed our study.

3. Theoretical perspectives on real-time monitor

Studies on sustainable consumption usually depart from the rational choice model, based on classical economic theory. Many studies have shown that rationality of people in daily life routines is plural and not fixed. Generally speaking, people are not guided by one single energy use rationale or one single energy-saving rationale. Rather, their rationales tend to depend on the practice. People make choices and adopt certain behaviours, compartmentalized by practices (Bartiaux 2008), in line with a set of criteria and constraints in which saving energy or money is often a less important factor than other personal criteria, as comfort, cleanliness or convenience (Shove, 2003). The European directive on energy services generally rests upon the rational choice model, and defines the user as well-informed and reacting to signals, as prices (Prignot and Wallenborn, 2009). This kind of behaviourism precludes some important questions to be asked, as the learning process involved in any experiment (Darby, 2006b). In this paper we focus then on how households appropriate a new object and what they learn with it.

We rely on different theoretical perspectives and other empirical findings to frame our research questions. Concepts at the crossroads of STS (Science Technology Society) theory and practice theory approaches have been found particularly useful in interpreting and explaining our results. Theories of design have also been prompted. From this perspective, the issue is to know how an object can help to transform a culture, how an electricity monitor is incorporated in current practices and whether practices are changed.

Studies about the ‘domestication’ of objects emphasize the role of users in the appropriation, and underline the fact that it is often a very active process (Akrich, 1995; Pantzar, 1997; Aune, 2007). Technologies are not just adopted and accepted, they are actively integrated into households’ dynamics. This is mostly visible with new technologies that modify a practice and not just replace an older appliance for the same use. For example, the introduction of a computer and the changes it makes in a household is certainly visible when the computer is new, or when a major revolution came, like the introduction of the Internet. Just replacing a computer by another one is not likely to change the practice, except if the old one is used by the children for new purposes. In these cases, computers may change the way people interact, associate with other people, inform themselves, buy things, and so on. The laundry routine and the introduction of a washing machine is described by Kaufmann (1998) as modifying or being part of the negotiations taking part in a couple.

The “appropriation” concept is used to describe how users integrate the objects in their own lives, households or network. Users integrate objects into an existing set of other objects, skills and meanings. This suggests that humans are affected by the objects they integrate into their daily lives. The appropriation process is a matter of reciprocity: humans influence objects, and objects influence humans. An object can change the time schedule of the family, and it can change the way users interact, it can modify their symbolic network. The introduction of new technologies may change the “clocking” of households, the rhythms and routines of households that fit in a more public organisation of time (Shove, 2003). Hygiene and wealth are also organized internally, with objects, but in regard also of what is considered as being socially accepted (which is also mediated by objects). So objects play a role at both the personal and societal levels. There are different steps in the life of a product on a market. It can go from a very specialized niche of users to a mass-market. It can turn from a toy to an indispensable tool (cellphones, televisions). It can go the other way around, from a useful tool used for professional purposes to a widely used tool used for entertainment (*e.g.*, phones) (Pantzar, 1997). The pathway is not given and depends on the objects. When an object becomes ‘normal’, its acquisition no longer requires a justification.

As marketed electricity monitors are various, with different characteristics and with a price amounting to hundreds of Euros, we are still confronted to a market niche. And protocols of smart metering experiments can be very different: immediate or delayed feedback, with variations in the kind of information received, the kind of appliance inspected

and the length of the experiment. The interaction between smart metering and other forms of information is at this stage rather unclear. Some studies conclude that information alone is enough for a behavioural change; some others conclude that information does not add to the economies made with smart meters. Two important effects are put forward: the drawback effect and the Hawthorne effect. The drawback effect is defined as ‘the phenomenon in which newness of a change causes people to react, but then that reaction diminishes as the newness wears off’ (Wilhite and Ling, 1995). The Hawthorne effect is the fact that people react differently when they know they are being watched. Those two effects can interact with each other. Nevertheless, academic studies give an idea of the maximum of reduction that could be reached. Most of the literature concludes that it is possible to reduce the energy consumption, but the numbers and figures vary greatly (Darby, 2006a).

In all these studies, it is, however, never clear how participants have been recruited. These studies are usually done with highly motivated people, who tend to be better educated and have higher income than average (Abrahamse *et al.*, 2005). Liikkanen (2009) has developed interesting ideas about how to design a smart monitor, but his experiments were done with “extreme users,” namely people willing to use an electricity meter and ready to learn from it. That is typical of the results we have about the use of an electricity monitor. In order to get around this problem, we have contacted households with various degrees of interests in energy, and developed an original protocol to grasp what households learn with an electricity monitor.

4. An original methodology

The introduction on the market of cheap electricity consumption displays allowed the launch of a survey on the use of these ‘smart meters’. In order to understand how appliances and technology could be better appropriated in the perspective of more sustainable patterns of energy use, we organized a survey on the use of smart meters in households. For that purpose, we have developed an original protocol for the realization of the survey of 21 Belgian households, which combines through its different steps (described thereafter) the competences of our interdisciplinary team (engineer, psycho-sociologist, economist, philosopher, designer). By installing ‘real time’ meters in households (including low-income households), we collected data on energy consumption, material culture (appliances, heating

system, etc.), representations of energy, energy-using practices, and the effects induced by the introduction of the meter.

4.1. The choice of the meters

Due to technical constraints the choice was restricted among a few of the meters which are readily available on the market. These meters were found to be not very user friendly nor technically irreproachable. In fact, their precision is not always sufficient and they are often impossible to be installed. Furthermore once installed, we observed that they are not well designed as they provide only figures in kilowatt and kilowatt-hour or Euros. In order to obtain graphics and analyse the data one needs to download data and install a software which has proven to be not very user friendly. The meters have two main parts: the metering device, placed at the main incoming cable, and the display, which is mobile.

4.2. Recruiting the households

We paid attention to include very different households' profiles in our sample. As reviews of work by Darby (2006a) and Fischer (2008) show, studies on energy feedback are usually not clear about which households are recruited. As we wanted to escape from this pitfall, we have paid attention to recruit households through different channels.

We did not arrange a statistical sampling of households (due to a lack of resources), but we paid attention to have different profiles of households:

- households already involved in energy reduction (people working in a sustainable development context, for example, or having already participated to energy reduction campaign);
- households already aware of their electric consumption and interested in reducing consumption for different reasons (not only environmental ones), recruited through a electricity provider newsletter;
- low-income households, recruited through social housing associations (unfortunately only one of these households completed the different phases of the survey, due to cultural and social difficulties);

- households not at all interested in their energy consumption (these are people we selected for the survey but they would not have asked for anything to control their energy consumption)

4.3. Installing the monitors.

At the first step of the survey, an engineer, who presents himself in these terms, installs the measuring equipment, and gives a brief explanation of the monitor to the household. The user's manual is left and householders are invited to play with the power meter display options. It is also suggested that they try to reach a 'consumption zero level', *i.e.* stopping the use of electricity completely by switching off all their appliances. Households are also provided with a questionnaire on the possession and use of electrical appliances as well as on other data about the heating system and the home insulation, and they are asked to complete it at their convenient time during the weeks of the measures. Households were asked to note the most important facts occurring during the period of the measures (as holidays, parties, etc.). The meter is left in the households for 2 to 4 weeks.

4.4. Downloading data and explaining electricity consumptions

After this period of time, the engineer comes back and downloads the data, displays graphics, decrypts and discusses with the household their electricity consumption.

4.5. Discussing experiences and perceptions around the smart meter and electricity consumption

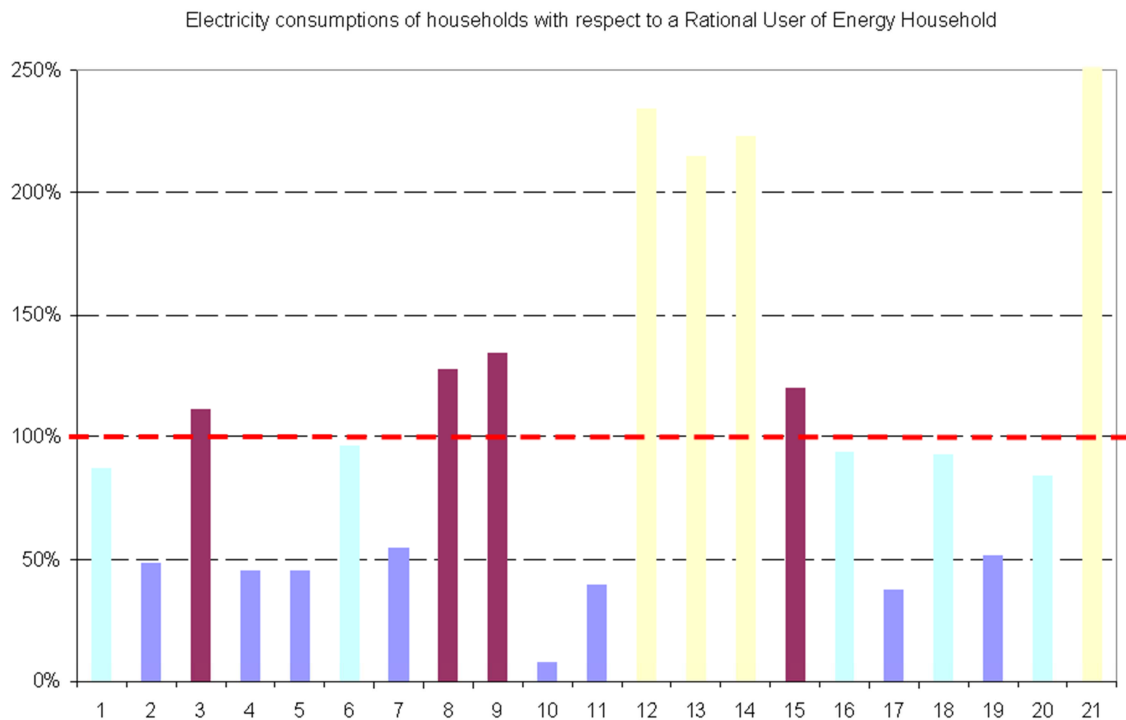
In 3-6 weeks after the engineer has discussed the consumption data with the household, an in-depth interview was led by a psycho-sociologist. Based on the collected data (consumption + questionnaire on appliances), the researcher stayed around 2 hours in the household in order to discuss the way the household members perceive and understand their consumption of energy, and analyse the experience with the monitor (in particular what they have learned and which practices have changed).

5. Findings of the social experiment

In order to try to synthesize the huge amount of collected data, we have compared the consumption of each household with the average consumption of a rational use of energy (RUE) household. According to this comparison, households are grouped as in Figure 1:

consuming more than the average (yellow), normal consumer (red), RUE (light blue), “super” RUE (blue). We observe that “super RUE households” are over-represented in our sample: we will see that this is related to a pre-existing interest in the monitor.

Figure 1: Consumption of the surveyed households with respect to a RUE household.



Through the presented protocol, we have gathered a huge amount of data on the material culture of these 21 households. Table 1 summarises the main results of the survey. We organise the results according the following dimensions:

- Perception change. This dimension points to the fact that the perception of electricity consumption has been changed or not after the introduction of the meter.
- Behaviour change. On the basis of the in-depth interview, we establish whether some behaviours have changed after the introduction of the electricity meter.
- Self-declared thriftiness. Do members of the household consider themselves to be thrifty?
- Observed wasteful behaviours. This dimension indicates that households declare to have wasteful behaviours related to energy consumptions (through in-depth interviews).

- RUE comparison. This dimension indicates the level of energy consumption, according to a standard RUE (rational use of energy) household: high, normal, RUE, super RUE (cf. Figure 1).
- Energy interest. Through the recruitment channel, we can label households in the following categories: involved (the household has already taken part to other energy experiments), interested (it has been recruited through mails), not interested (it has been recruited through individual contacts), low income (it has been contacted through social services that manage social housing).

Table 1: summary of the main results

	Perception change	Behaviour change	Self-declared thrifty	Observed wasteful behaviours	RUE comparison	Energy interest
1	YES	YES	YES	NO	RUE	Interested
2	YES	YES	YES	NO	Super RUE	Not interested
3	YES	NO	+/-	YES	NORMAL	Interested
4	NO	NO	YES	NO	Super RUE	Involved
5	YES	NO	YES	+/-	Super RUE	Involved
6	YES	NO	+/-	YES	URE	Interested
7	YES	YES	YES	NO	Super RUE	Involved
8	YES	NO	YES	YES	NORMAL	Not interested
9	YES	NO	+/-	NO	NORMAL	Not interested
10	YES	NO	YES	NO	Super RUE	Involved
11	NO	NO	+/-	YES	Super RUE	Interested
12	YES	NO	+/-	+/-	HIGH	Interested
13	NO	NO	+/-	+/-	HIGH	Interested
14	YES	NO	NO	YES	HIGH	Not interested
15	YES	NO	+/-	YES	NORMAL	Interested
16	NO	NO	NO	YES	RUE	Low income
17	YES	YES	+/-	NO	Super RUE	Involved

18	YES	NO	YES	NO	RUE	Involved
19	YES	YES	YES	NO	Super RUE	Interested
20	YES	NO	YES	NO	URE	Involved
21	NO	NO	YES	YES	HIGH	Not interested

Before discussing the results presented in the table, and interpreted through the interviews, we should recall that this methodology is qualitative, and that no quantitative conclusion can be drawn from it. For instance, a side effect of our interdisciplinary protocol is the manifest discrepancies between the statements made by households in written questionnaire administrated by the engineer and the observations made by the psycho-sociologist. For instance, some households wrote that they hardly do any 90°C washing cycles, while in reality it is a common practice. This gap between declarations and practices is well known, but indicates how much quantitative surveys on household consumption should be treated with caution. In the rest of this section we present the main results and point to several striking correlations.

First of all, while perception of electricity has changed in most of the cases, behaviour change has not followed. Many users have learned through the electricity monitors that heating (water, rooms, oven) consumes much electricity. In some cases, it has been possible to track down “bizarre” nightly consumptions that resulted from water heaters without clock regulation.

After the utilisation of the monitor, five households state that they have changed (or they are going to change) their behaviour towards the use of electric appliances during the survey, at least for one or more of the appliances they found out to be energy intensive. These households are all households which do not show any sign of wasteful behaviour during the interview conducted at the end of the survey, and are RUE or even super RUE.

Among the eight households showing wasteful behaviour for one or more of the appliances from their interviews, no one expressed the intention of changes in behaviour, even if six of them were said to be attentive to energy saving. Among these eight households, five acknowledge their consumption patterns and are aware of being above or in the consumption average. Nevertheless, they do not want to change their behaviours causing these consumption patterns. The other three households did not acknowledge their consumption patterns and the most energy intensive uses.

It is interesting to note the reasons provided by the five households who do not want to change their behaviours even if they recognize their relatively high consumption with the monitor. The change in the behaviour could cause a conflict within the household as some wasteful behaviours are associated with the good perception of a role in the household (washing clothes at 90°C is associated with being a ‘caring mother’). When a potential conflict can arise between a couple in areas such as the temperature set for the washing machine or for heating, even when one partner has obvious technical skills, this partner prefers to remain silent in order not to create a conflict. Each member of such a couple has his or her own field of activity that consumes energy and other members cannot interfere with it.

Another, paradoxical, reason that prevents ‘behaviour change’ is the self-esteem of the user about technical skills. The user of one of the appliances has, or thinks to have, the technical knowledge enabling him (or her) to justify choices and consumption patterns. In other cases, the (over)consumption of energy in a particular practice is associated with activities or services that provide “pleasure.” In such circumstances, the consumer may not consider reducing these consumptions because of the preference to offset them with savings in other areas. These people will eventually be more tempted to buy more efficient appliances than to change behaviour.

Among households who do not want to change their behaviour, three reported not having acknowledged any trouble in their mode of consumption from the monitor experience review. We can explain that because either they do not have the skills to understand recommendations, or they said they did not discover anything they already knew, or while seeing their consumption patterns and the peaks in consumption, they consider that their consumption is normal.

The five households who declare themselves to be ready to change their behaviours after the survey are motivated by a specific perception of the environment. They value ecology in a philosophical or political sense, more than for economic reason. These households who can appropriate the meter are in fact already well informed towards energy consumption.

Overall, we found that current electricity displays are not well designed. For example, they only provide figures in kilowatt-hours or Euros. Graphic representations are more useful for households to track down unsuspected consumption, but are not easily understood without the explanation of an expert. We have also noticed counterproductive effects when

users realise that some appliances consume little, and hence conclude they can use the device more. Because absolute consumption is often meaningless for households, they require comparisons in order to know whether they are on the right track.

Finally, we have observed a loose link between the number of appliances possessed by a household and its global electricity consumption. This relation is stronger in the case of lamps: high energy households have a larger number of lamps than the average. Beyond the issue of behaviour and use, this indicates the importance of material aspects in energy consumption.

6. Conclusions

The growth of electricity consumption is going to become both a social and environmental problem in developed countries. Many sociological studies have shown that household practices are shaped through a diversity of factors and processes. It is then normal to note that the idea of making energy visible is refracted through the diversity of practices occurring in households. Electricity materialises (or not) in a pre-existing fabric of habits and meanings. The process of appropriation of the monitor depends on a range of factors, upon which the meaning given to energy saving seems prominent.

Cost of the energy monitors that would be imposed on a household has begun to fuel debates in France and in Belgium. At the moment, most of the experiments are made with free or cost-reduced monitors (and so we did). It is therefore not clear to know what price could be paid by households for an unclear service. The privacy of the data is also a hot topic. It is therefore crucial to understand better what could be the positive role played by the introduction of these new devices.

Most of the results of this study are in line with Hargreaves *et al.* (2010)¹²⁰. For instance, men are generally more interested in the device than women. All households declare to have learned something (hidden consumption) but some of them also state that it has not going to change their behaviour. The introduction of an energy monitor can trigger conflicts within households, and the display can be discarded to pacify relationships. We have also noted that people have difficulty interpreting figures in kilowatt-hours, and that the conversion in Euros

¹²⁰ The discrepancies with this study could be explained by a different recruitment scheme. Their sample is described as 'early adopters.'

does not look impressive (a household can only save a few Euros by year for a given change). There are indeed many debates about the kind of display that would be useful for households (Pierce *et al.*, 2010), about which data to exhibit and how to present them. The place in the household of the display is also an issue: should it be fixed in the living room or should it be mobile?

When monitors are not integrated to pre-existing practices, the meter is readily absorbed in the daily background as any other new appliance. The presentation of the real time electricity consumption is not handy, and the sudden peaks are not easy to interpret. Notwithstanding reservation about the design of the meter (not easy to be installed and to be read, need literate users), we think that such a meter, to be efficient, should be integrated into an existing appliance to get a chance to be used. The data provided by the meter could be carried to the user through Internet or through the mobile phone, for instance, so that this information would arise in pre-existing practices. Furthermore, for some kinds of households, a follow-up of the consumption should be organised. We therefore suggest that users should be involved in the design process, and that this design should allow some room for different kinds of users.

Our results are not statistically significant, but they give a good indication on 1) which households are today ready to use an electricity monitor, and 2) how to improve the monitor and what surrounds it. We have observed that the monitor can change electricity perception, but that only households already interested or involved in energy savings are willing to use and learn with the monitor. We conclude that the monitor can be integrated into existing practices but they do not trigger new practices by themselves. In other words, information works only with households already informed or willing to understand the information provided. This observation was already made in focus groups where we noticed that people who do not feel informed enough about an issue are also the ones not searching for information, whereas people actively looking for information that interests them find it not difficult to get it. Searching for information is therefore wholly part of a given practice, for it is related to meaningful activities performed by households. How information is integrated into practices remains, however, an open question.

Could the diffusion of the electricity monitor be seen as similar to the diffusion of other technological innovations (*e.g.*, PC, mobile phones)? As the service provided by the device is quite peculiar (electricity consumption and nothing else), the question is how to interest

people in the issue of energy use. The Internet has been generalised because it has offered more and more services and entertainment. By contrast, the energy monitor concerns only one (important) aspect. At present, it is added to existing appliances. A probable future of these monitors is to be integrated into existing devices, such as PC or mobile phones. In conclusion, we believe that if we want to empower electricity users, we have to invent other ways of making energy precious than making it visible through a small monitor, even though such a device can help well educated people develop awareness about their electricity uses.

Acknowledgements

The survey on the use of smart meters in the households is part of the ISEU (Integration of Standardisation, Ecodesign and Users in energy-using products) project. This project, financed by the Belgian Science Policy Office in the framework “Science for Sustainable Development,” is conceived as an integrated socio-technological study about the manufacturing and the use of households’ energy consuming appliances. We warmly thank Christian Bontinckx who has realised all the in-depth interviews and have provided us interesting data to be discussed upon. We are grateful for critical and helpful comments from two anonymous referees.

References

- ABRAHAMSE, W., STEG, L., VLEK, C. & ROTHENGATTER, T. (2005) “A review of intervention studies aimed at household energy conservation”, *Journal of Environmental Psychology*, 25, p. 273-291.
- AKRICH, M. (1995) “User Representations: Practices, Methods and Sociology”, in Rip A., Misa Tj., Schot J. (eds.), *Managing Technology in Society. The Approach of Constructive Technology Assessment*, London, Pinter, p. 167-184.
- AUNE, M. (2007) “Energy comes home”, *Energy Policy*, 35, p. 5457-5465.
- BURGESS J. & NYE M. (2008) “Re-materialising energy use through transparent monitoring systems”, *Energy Policy*, 36, p. 4454-4459.
- COM 2006/32/EC, *Directive of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use efficiency and energy services.*
- DARBY, S. (2006a) “The effectiveness of feedback on energy consumption”. A review for DEFRA of the literature on metering, billing, and direct displays. [WWW document] Retrieved March 22nd, 2007, from:

<http://www.defra.gov.uk/environment/energy/research/pdf/energyconsump-feedback.pdf>.

- DARBY, S. (2006b) "Social learning and public policy: Lessons from an energy-conscious village", *Energy Policy*, 34, p. 2929-2940.
- FISCHER, C. (2008) "Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy?", *Energy Efficiency*, 1, p. 79-104.
- GRAM-HANSEN, K. (2010) "Households Analyzed With a Practice Theory Approach", *Journal of Industrial Ecology*, 14, p. 150-165.
- HEISKANEN, E. & LOVIO, R. (2010) "User-Producer Interaction in Housing Energy Innovations. Energy Innovation as a Communication Challenge", *Journal of Industrial Ecology*, 14, p. 91-102.
- JENSEN, J. O. (2008) "Measuring consumption in households: Interpretations and strategies", *Ecological Economics*, 68, p. 353-361.
- KAUFMANN, J.-C. (1998) *Dirty Linen : Couples and their Laundry*, London, Middlesex University Press.
- LIKKANEN, L. (2009) "Extreme-user approach and the design of energy feedback systems", in *Proc. of EEDAL 2009 – 5th International Conference on Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting*.
- LOCKTON D., HARRISON, D. & STANTON, N. (2008), "Making the user more efficient: Design for sustainable behaviour", *International Journal of Sustainable Engineering*, 1, p. 3-8.
- MARTISKAINEN, M. & ELLIS, J. (2010) "The role of information and communication technologies (ICTs) in household energy consumption - prospects for the UK", *Energy Efficiency* (to be published).
- MARVIN, S., CHAPPELLE, H. & GUY S. (1999) "Pathways of smart metering development: shaping environmental innovation, Computers", *Environment and Urban Systems*, 23, p. 109-126.
- PANTZAR, M. (1997) "Domestication of Everyday Life Technology: Dynamic Views on the Social Histories of Artifacts", *Design Issues*, 13, p. 52-65.
- PIERCE, J., SCHIANO, D. & PAULOS, E. (2010), "Home, Habits, and Energy: Examining Domestic Interactions and Energy Consumption", available on line at: http://www.paulos.net/papers/2010/HomeHabitsEnergy_CHI2010.pdf
- PRIGNOT, N. & WALLENBORN, G. (2009) "Standardisation of practices and representations of users in the ecodesign Directive", *ECEEE Conference*, 1-6 June 2009, La Colle-sur-Loup, France.
- SHOVE, E. (2003) *Comfort, cleanliness and convenience: the social organisation of normality*. Berg.
- THE CLIMATE GROUP (2008), *SMART 2020 : Enabling the low carbon economy in the information age, Report on behalf of the Global eSustainability Initiative*, Creative Commons.

- WALLENBORN, G., ROUSSEAU, C. & THOLLIER, K. (2006) *Détermination de profils des ménages pour une gestion plus efficace de la demande d'énergie (CP50)*, Report for the Belgian Science Policy Office.
- WILHITE, H. & LING R. (1995) "Measured energy savings from a more informative energy bill", *Energy and buildings*, 22, p. 145-155.
- WILHITE, H., NAGAKAMI, H., MASUDA, T., YAMAGA, Y. & HANEDA, H. (1996) "A cross-cultural analysis of household energy use behaviour in Japan and Norway", *Energy Policy*, 24, p. 795-803.

Table

PARTIE 1 UNE ANALYSE INTERDISCIPLINAIRE DES EFFETS REBONDS Erreur ! Signet non défini.

1. Introduction Erreur ! Signet non défini.

Une enquête sur les effets rebonds Erreur ! Signet non défini.

Ordre de l'enquête Erreur ! Signet non défini.

1.1 À terrain varié, méthode originale Erreur ! Signet non défini.

Études sur la réduction de la consommation d'énergie Erreur ! Signet non défini.

Nécessité d'une approche interdisciplinaire Erreur ! Signet non défini.

Une certaine interdisciplinarité Erreur ! Signet non défini.

1.2 Cadres théoriques et ontologies disciplinaires Erreur ! Signet non défini.

Construction d'ontologies simples Erreur ! Signet non défini.

Une démarche empiriste et pragmatiste Erreur ! Signet non défini.

Pluralisme ontologique Erreur ! Signet non défini.

Quatre ontologies pertinentes Erreur ! Signet non défini.

Que serait une ontologie politique de l'énergie ? Erreur ! Signet non défini.

Performativité des ontologies Erreur ! Signet non défini.

1.3 Présentation des articles Erreur ! Signet non défini.

[1] Attributions de pouvoirs aux consommateurs Erreur ! Signet non défini.

[2] La Fée Electricité Erreur ! Signet non défini.

[3] L'économie et la thermodynamique Erreur ! Signet non défini.

[4] Inégalités écologiques Erreur ! Signet non défini.

[5] Les effets rebonds dans la consommation domestique Erreur ! Signet non défini.

[6] Corps et consommation d'énergie Erreur ! Signet non défini.

[7] Corps étendus Erreur ! Signet non défini.

[8] La normalisation des pratiques Erreur ! Signet non défini.

[9] Compteurs intelligents et économie d'énergie Erreur ! Signet non défini.

[10] Appropriation des afficheurs de consommation électrique Erreur ! Signet non défini.

2. Efficience et consommation d'énergie : un duo rebondissant Erreur ! Signet non défini.

2.1 Les voix officielles de l'efficience énergétique Erreur ! Signet non défini.

Menaces climatiques Erreur ! Signet non défini.

Importance de la consommation dans les scénarios énergétiques Erreur ! Signet non défini.

L'idée d'efficience énergétique s'est substituée à celle d'économie d'énergie Erreur ! Signet non défini.

Bénéfices attendus de l'efficience énergétique. Erreur ! Signet non défini.

2.2 Efficacité, efficience et productivité Erreur ! Signet non défini.

Minimiser les moyens Erreur ! Signet non défini.

Un résultat toujours identique ? Erreur ! Signet non défini.

La dualité efficience-productivité Erreur ! Signet non défini.

2.3 Limites de l'efficience énergétique Erreur ! Signet non défini.

La question des unités et le culte de la mesure Erreur ! Signet non défini.

Technologie et comportement sont séparés Erreur ! Signet non défini.

2.4 L'effet rebond comme critique des politiques d'efficience énergétique Erreur ! Signet non défini.

Définition et classification habituelles des effets rebonds Erreur ! Signet non défini.

Quelle est l'ampleur des effets rebonds ? Erreur ! Signet non défini.

Echelles spatiales et temporelles hétérogènes Erreur ! Signet non défini.

2.5 Ambiguïtés de la consommation d'énergie _____	Erreur ! Signet non défini.
L'énergie est invisible et partout _____	Erreur ! Signet non défini.
Que veut dire « consommer de l'énergie » pour un ménage ? _____	Erreur ! Signet non défini.
L'énergie en physique : les deux principes de la thermodynamique _____	Erreur ! Signet non défini.
Quantité et vitalité _____	Erreur ! Signet non défini.
Les deux faces de la consommation : dégradation et achèvement _____	Erreur ! Signet non défini.
2.7 Conclusion _____	Erreur ! Signet non défini.
3. Ecologie : minimisation de la production d'entropie et maximisation de la puissance _____	Erreur ! Signet non défini.
3.1 Relations et flux matériels _____	Erreur ! Signet non défini.
Chaines trophiques et reproduction de la vie _____	Erreur ! Signet non défini.
Deux approches de l'écologie humaine _____	Erreur ! Signet non défini.
Puissance de l'anthropocène _____	Erreur ! Signet non défini.
3.2 Energie : conservation et dégradation _____	Erreur ! Signet non défini.
Représentations des métabolismes écosystémiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Exergie et entropie _____	Erreur ! Signet non défini.
3.3 La tragédie de l'efficacité énergétique _____	Erreur ! Signet non défini.
Lotka et l'efficacité de capture énergétique _____	Erreur ! Signet non défini.
Le principe de puissance maximale appliquée aux sociétés humaines _____	Erreur ! Signet non défini.
3.4 Devenirs écologiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Systèmes complexes adaptatifs _____	Erreur ! Signet non défini.
Deux types de transformations complémentaires et asymétriques _____	Erreur ! Signet non défini.
L'évolution énergétique des écologies humaines. _____	Erreur ! Signet non défini.
3.5 Conclusions _____	Erreur ! Signet non défini.
4. Technologie : machines, infrastructures et normes _____	Erreur ! Signet non défini.
4.1 Mesures et normalisations de l'énergie _____	Erreur ! Signet non défini.
Origine mécanique de la thermodynamique _____	Erreur ! Signet non défini.
Métrologie et normalisation _____	Erreur ! Signet non défini.
4.2 Le paradoxe de Jevons _____	Erreur ! Signet non défini.
La machine de Watt crée un flux de charbon _____	Erreur ! Signet non défini.
L'efficacité énergétique comme facteur de croissance _____	Erreur ! Signet non défini.
4.3 Infrastructures et rebonds transformatifs _____	Erreur ! Signet non défini.
Technologies universelles _____	Erreur ! Signet non défini.
Infrastructures : circulation de l'énergie et transport des machines _____	Erreur ! Signet non défini.
4.4 L'involution des agencements de machines et de corps _____	Erreur ! Signet non défini.
Assembler des corps et des machines _____	Erreur ! Signet non défini.
Une théorie de l'évolution des machines _____	Erreur ! Signet non défini.
Vers une théorie de l'évolution des infrastructures _____	Erreur ! Signet non défini.
4.5 Conclusion _____	Erreur ! Signet non défini.
5. Economie néoclassique : maximisation du profit et de l'utilité _____	Erreur ! Signet non défini.
5.1 Utilité et facteur de production _____	Erreur ! Signet non défini.
Actions individuelles d'acheteurs et de vendeurs _____	Erreur ! Signet non défini.
L'utilité est une fonction mathématique _____	Erreur ! Signet non défini.
Une mathématisation hasardeuse _____	Erreur ! Signet non défini.
Production et substitution _____	Erreur ! Signet non défini.
5.2 Rebonds directs et indirects _____	Erreur ! Signet non défini.

Limites du modèle microéconomique _____	Erreur ! Signet non défini.
5.3 Rebonds macroéconomiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Une preuve mathématique ? _____	Erreur ! Signet non défini.
Ampleur du rebond macroéconomique _____	Erreur ! Signet non défini.
Système non-linéaire _____	Erreur ! Signet non défini.
5.4 Quantifications difficiles _____	Erreur ! Signet non défini.
Quelles variables ? _____	Erreur ! Signet non défini.
Quelles unités ? _____	Erreur ! Signet non défini.
Les limites du système _____	Erreur ! Signet non défini.
5.5 Articulations des efficacités énergétiques et temporelles _____	Erreur ! Signet non défini.
Maximisation de la puissance et du profit _____	Erreur ! Signet non défini.
Fluidité du capital et de l'énergie _____	Erreur ! Signet non défini.
Rebonds temporels _____	Erreur ! Signet non défini.
Le temps est-il de l'argent ? _____	Erreur ! Signet non défini.
5.6 Conclusion: les effets rebonds sont transitoires et irréversibles _____	Erreur ! Signet non défini.
6. Sociologie : corps et pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
6.1 Corps, objets, compétences et significations _____	Erreur ! Signet non défini.
Les individus sont les sites transitoires des pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
L'axiomatique des pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Dynamiques matérielles _____	Erreur ! Signet non défini.
6.2 L'évolution des sociétés et des corps _____	Erreur ! Signet non défini.
L'énergétique sociale _____	Erreur ! Signet non défini.
La machine outil étend les corps _____	Erreur ! Signet non défini.
Les machines s'agencent dans des pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
6.3 Effets rebonds dans les pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Rebonds dispersifs _____	Erreur ! Signet non défini.
Rebonds intégratifs _____	Erreur ! Signet non défini.
Empilement des activités _____	Erreur ! Signet non défini.
6.4 De mauvais feedbacks _____	Erreur ! Signet non défini.
Comment discipliner des corps ? _____	Erreur ! Signet non défini.
Appropriation et co-conception des appareils _____	Erreur ! Signet non défini.
6.5 Activités et agencements des corps et machines _____	Erreur ! Signet non défini.
Le rôle central des corps dans les pratiques écologiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Activité des agencements et agencité des pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
Le régime mécanique des corps _____	Erreur ! Signet non défini.
Les deux consommations des corps _____	Erreur ! Signet non défini.
6.6 Conclusion : dualités des corps et des pratiques _____	Erreur ! Signet non défini.
7. Conclusions _____	Erreur ! Signet non défini.
7.1 Efficacité et puissance _____	Erreur ! Signet non défini.
7.2 Corriger les ontologies _____	Erreur ! Signet non défini.
7.3 A la recherche d'une ontologie pragmatique pour les effets rebonds _____	Erreur ! Signet non défini.
7.4 Modélisations _____	Erreur ! Signet non défini.
7.5 Performativité des ontologies _____	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 1. Glossaire _____	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 2. Table des ontologies _____	Erreur ! Signet non défini.
Références _____	Erreur ! Signet non défini.

PARTIE 2 ARTICLES PUBLIÉS	9
[1] How to attribute power to consumers? When epistemology and politics converge.	11
1. What consumers?	11
2. Consumers as living beings	14
3. Consumers as rational economic agents	15
4. Consumers prompted by their attitudes	17
5. Situations and practices	19
6. Ages and objects	22
7. Conclusions	23
References	26
[2] Le télégraphe, l'éther et la fée Électricité	29
Note introductive	29
1. La fée Électricité travaille pour vous	29
2. Le télescope, l'étalon et la précision de la mesure	31
3. Le télégraphe, les machines et la division du travail de la nature	34
4. L'éther, la loi astronomique et la mécanique	37
5. Le champ fait des vagues	42
6. Un nouveau travail de la théorie	48
7. La physique procure de nouvelles demeures à la fée	51
[3] L'économie et la thermodynamique : analyse critique des thèses de Georgescu-Roegen	57
1. Quelle est la cible des critiques de Georgescu-Roegen ?	57
2. Pourquoi Georgescu-Roegen ajoute-t-il un « quatrième principe » à la thermodynamique ?	59
3. Incursions non maîtrisées en physique	64
4. Une philosophie de l'histoire pessimiste	68
[4] Inégalités écologiques : analyse spatiale des impacts générés et subis par les ménages belges.	73
1. Des chiffres et des cartes	73
2. Méthodologie et sources de données	75
3. Présentation succincte de la Belgique	77
4. Impacts subis	78
Les sites de pollution	78
La perception subjective de l'environnement	81
5. Utilisation des ressources et impacts sur l'environnement générés par les ménages	83
Approche par les dépenses	83
Approche par les données de l'enquête socioéconomique	86
6. Tentative de synthèse	88
7. Conclusions	92
Repères bibliographiques	94
Bases de données	94
Articles et ouvrages scientifiques	95

[5] Comment comprendre les effets rebonds dans la consommation domestique d'énergie ? Pour une socio-anthropologie des pratiques en transition	97
1. Introduction	97
2. Une approche inspirée des théories des pratiques et de la transition	99
3. Une reconstruction socio-anthropologique des effets rebonds dans les consommations énergétiques du chauffage et de la mobilité	102
4. Conclusion	110
Bibliographie	111
[6] Articulating the body in the theorizing of consumption	113
1. Introduction: the plasticity of bodies	113
2. Bodies as active entities in practices	116
2.1 Bodies as sites of habits	116
2.2 Bodies as processes	120
3. Body and energy consumption	123
3.1 Bodies as the sites of social reproduction	123
3.2 How bodies and consumption are transformed	125
4. Bodies as policy subjects	127
4.1 Practices change through experiences and experiments	128
4.2 Different kinds of experiments	129
5. Conclusion	131
References	133
[7] Extended bodies and the geometry of practices. The unsustainable extension of our bodies	137
1. Introduction	137
2. Practice as the performance of an extended body	141
3. Topographies of extended bodies	145
4. Practice geometry as the intertwining of different topographies	148
5. Subjects, agency and habits	150
6. Three means of using the extended body concept	153
7. Implications and conclusions	154
References	157
[8] Standardisation of practices and representations of users in the ecodesign Directive	159
1. Introduction: the ecodesign Directive framework	160
2. Representation of users in the ecodesign implementation	162
3. Washing machines: standardization of appliances, diversification of practices	163
4. Domestic Lighting: CFLs as trade-off between efficiency, environment and quality	167
5. Computers: uses and technology evolve too fast to be measured	169
6. Heating: delegation of decision to technology	172
7. Lessons from the case studies: the diversity of practices should be acknowledged	173
Abbreviations	177
References	178
Acknowledgements	179

[9] Les « compteurs intelligents » sont-ils conçus pour économiser l'énergie ?	181
1. Introduction : un objet en voie de stabilisation	181
Le compteur intelligent, un objet souple	183
2. Interêts divergents autour du compteur intelligent	184
Les producteurs	184
Les GRT	185
Les GRD	185
Les fournisseurs	185
Les consommateurs	186
Les États membres	187
Les industriels	187
3. Les 5 familles de fonctionnalités des compteurs	187
Le relevé à distance et le contrôle d'accès	188
La tarification	189
Le contrôle automatique des charges	189
L'intégration dans le Réseau Intelligent	190
L'utilisation rationnelle de l'énergie (URE)	190
4. Un potentiel d'économie d'énergie négligé	191
La consommation d'énergie des ménages	191
L'Utilisation Rationnelle de l'Energie perdue parmi les considérations technico-économiques	192
L'utilisation des CI dans une optique URE	194
5. Conclusions	195
[10] Household Appropriation of Electricity Monitors	197
1. Introduction	198
2. The role of electricity monitors in the culture of energy	199
3. Theoretical perspectives on real-time monitor	201
4. An original methodology	203
4.1. The choice of the meters	204
4.2. Recruiting the households	204
4.3. Installing the monitors.	205
4.4. Downloading data and explaining electricity consumptions	205
4.5. Discussing experiences and perceptions around the smart meter and electricity consumption	205
5. Findings of the social experiment	205
6. Conclusions	210
Acknowledgements	212
References	212