

# Médecine prédictive : les balbutiements d'un concept aux enjeux considérables

La médecine prédictive a pour objectif de déterminer chez chacun des sensibilités aux médicaments et des prédispositions biologiques à certaines maladies afin d'en retarder, voire d'en éviter, la survenue. **Ce concept**, énoncé pour la première fois au début des années 1970 par le prix Nobel de médecine Jean Dausset, **a d'ores et déjà trouvé quelques débouchés concrets**. Ainsi, en France, la Haute Autorité de santé recommande de procéder à un test génétique avant la prise d'abacavir, un anti-HIV, afin d'identifier les personnes porteuses d'une forme d'un gène prédisposant à de graves effets secondaires en cas de prise de ce médicament. Au Canada, à l'aide d'un simple prélèvement salivaire, un individu peut désormais savoir s'il a un surplus de risque de développer une dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) par rapport à la population générale. En portant cette information à la connaissance de son médecin, il peut être incité à modifier son mode de vie et bénéficier d'une surveillance ophtalmologique accrue.

La médecine prédictive étant principalement fondée sur l'analyse génétique, **les progrès accomplis en matière de séquençage génomique ont laissé espérer une démultiplication de ses applications**

**cliniques. À ce jour, celles-ci demeurent cependant extrêmement limitées** et beaucoup reste à entreprendre avant que la médecine prédictive ne conduise à des prises en charge préventives et thérapeutiques plus personnalisées. **Certains pensent même que cette quête est illusoire** et que ce type de médecine ne deviendra jamais une réalité. Ainsi suggèrent-ils de renforcer avant toute chose les politiques visant à agir sur les déterminants environnementaux et sociaux de la santé, dont on sait toute l'importance.

Toutefois, **si la connaissance venait à progresser**, la médecine prédictive pourrait avoir des conséquences sanitaires et sociétales telles qu'il convient de les anticiper afin d'établir **un cadre propice pour en tirer les bénéfices tout en limitant les risques**. D'une part, les applications médicales pourraient être appelées à se développer afin de proposer des stratégies préventives plus efficaces car adaptées aux profils de risque. D'autre part, il s'agirait de veiller à une stricte régulation permettant d'assurer la préservation du principe de solidarité sur lequel repose l'assurance maladie, mais aussi la non-sélection de la descendance et l'accès de tous aux assurances et emprunts bancaires. ■

▶ LES ENJEUX

La médecine prédictive est fondée sur la détermination de prédispositions biologiques à certaines maladies et des sensibilités individuelles aux médicaments. Son objectif principal est de développer des stratégies préventives et thérapeutiques plus ciblées en fonction des risques établis. À ce jour, seules quelques applications cliniques existent.

Les promesses de la médecine prédictive suscitent autant d'espoirs que de craintes, et pourraient alimenter d'importants débats en matière de santé publique et de bioéthique dans les années à venir.

Sa capacité à anticiper la manifestation de certaines pathologies invite à accélérer la recherche. Mais parviendrons-nous à rassembler un corpus de connaissances suffisantes pour renforcer la prévention et améliorer les prises en charge ?

De plus, l'utilisation des informations ainsi collectées pourrait transformer, voire menacer, les mécanismes traditionnels de solidarité. Les exigences comportementales à l'égard des patients à risque seraient-elles plus importantes ? Comment les assurances publiques et privées, qui reposent par définition sur l'incertitude, fonctionneraient-elles ?

Enfin, la médecine prédictive pourrait être employée avant la naissance. Ces démarches mèneraient-elles à une sélection des individus sur leur profil de risque ?

Il s'agit donc de dessiner une voie permettant de bénéficier des progrès scientifiques tout en prévenant les dérives potentielles.

## ▶ LA MÉDECINE PRÉDICTIVE AUJOURD'HUI : UN CONCEPT PLUS QU'UNE RÉALITÉ

En 1997, le film *Bienvenue à Gattaca* donne à voir une société où les choix de vie sont orientés, voire conditionnés, par les facteurs de risque génétiques déterminés à la naissance. Quinze ans plus tard, même si la réalité n'a pas rejoint la fiction, les progrès considérables accomplis en matière de connaissance du génome ont rendu plus crédibles les projets d'une médecine dite prédictive.

### ( La notion de médecine prédictive

Par définition, toute médecine diagnostique comporte une dimension prédictive puisqu'elle s'intéresse à l'évolution d'une maladie. La dénomination de "médecine prédictive" désigne un domaine bien plus restreint. Elle qualifie la médecine ayant pour **but de détecter une prédisposition biologique à une maladie, afin de développer des stratégies propres à retarder, atténuer, voire empêcher, son apparition**<sup>(1)</sup>. Cette "médecine préventive personnalisée" repose le plus souvent sur l'identification de variations génétiques, qui signalent une susceptibilité individuelle à déclencher une maladie dans un environnement donné. Elle s'applique aux **maladies polygéniques** (dus à plusieurs gènes) et **polyfactorielles** (certains facteurs du milieu ambiant influencent leur développement). Il s'agit d'affections relativement communes comme le diabète, l'hypertension, les maladies cardio-vasculaires ou encore la maladie d'Alzheimer<sup>(2)</sup>.

La médecine prédictive passe d'abord par un calcul de "surplus de risque" d'avoir une maladie par rapport à la population générale. Le déclenchement de cette pathologie n'est pas systématique : elle est conditionnée par l'exposition à des facteurs environnementaux et/ou comportementaux spécifiques.

Des études ont par exemple établi que le risque d'être atteint d'une dégénérescence maculaire liée à l'âge est 2,5 fois plus élevé par rapport à la population générale lorsqu'on est porteur d'une variation particulière (un allèle) dans le gène CFH. Cela permet d'inciter l'individu prédisposé à modifier son mode de vie, en arrêtant de fumer notamment, et de développer une surveillance ophtalmologique accrue afin de diagnostiquer et de traiter au plus tôt la DMLA.

La médecine prédictive ne s'applique pas aux maladies dites "monogéniques", car pour celles-ci les tests génétiques peuvent conclure avec certitude qu'une personne est atteinte ou non : on est donc dans le cadre d'un diagnostic positif et non pas dans celui d'un calcul de risques.



[1] Delpéch M. (2007), "Médecine prédictive", in Bourdillon F., Brückner G. et Tabuteau D., *Traité de santé publique*, 2<sup>e</sup> édition, Paris, Flammarion.

[2] Mandel J.-L. (2010), "Génétique des maladies communes et médecine prédictive ou personnalisée : actualités et perspectives", cours au Collège de France.

Toutefois, quelques pathologies monogéniques présentent des défauts de pénétrance<sup>(3)</sup>, c'est-à-dire qu'il est possible d'être porteur de l'allèle responsable de la maladie sans pour autant la déclarer. Par exemple, 30 % des patientes qui possèdent une mutation dans un des deux gènes BRCA1 ou BRCA2, associés au cancer du sein héréditaire, n'en développeront pourtant jamais. Le test recherchant la présence de ces allèles se situe alors à la frontière de la médecine diagnostique et de la médecine prédictive<sup>(4)</sup>.

Par ailleurs, la médecine prédictive ne se cantonne pas à la détection de risque de maladies. Elle englobe également la **pharmacogénétique**, qui vise à prédire la façon dont une personne réagira à un médicament en fonction de son génome. Son objet principal est de permettre la délivrance de médicaments aux patients chez lesquels ils seront efficaces et non toxiques tout en déterminant les doses optimales.

Par exemple, l'abacavir (un anti-HIV) peut provoquer des réactions potentiellement mortelles d'hypersensibilité. Or des études démontrent que ces réactions concernent 48 % à 61 % des patients porteurs d'un allèle HLA (antigène des leucocytes humains) particulier, comparés à 0 % à 4% des patients non porteurs de cet allèle. Dès lors, plusieurs pays, dont la France, recommandent de s'assurer que les personnes ne sont pas porteuses de cet allèle avant d'entreprendre un traitement à l'abacavir<sup>(5)</sup>.

Autre illustration, des études ont montré l'utilité clinique de tester deux marqueurs génétiques pour prédire l'efficacité d'un anticoagulant majeur, la warfarine<sup>(6)</sup>. Un site Internet américain propose ainsi aux médecins de déterminer le bon dosage en fonction du génotype de leurs patients<sup>(7)</sup>.

Enfin, l'acception de la médecine prédictive est parfois élargie à la recherche d'une base génétique à des caractéristiques non pathologiques. Si certaines études peuvent se situer clairement en dehors du champ médical, comme dans la détermination de traits tels que la mémoire ou l'intelligence, d'autres pourraient revêtir une dimension plus sanitaire. Par exemple, l'analyse des gènes liés au métabolisme nutritionnel pourrait permettre de définir l'alimentation la plus adaptée à chacun.

## Des connaissances, technologies et marchés en développement

La médecine prédictive étant principalement fondée sur des tests génétiques<sup>(8)</sup>, son développement suit l'évolution

de la connaissance du génome humain, mais aussi la réduction des coûts et des délais de séquençage<sup>(9)</sup> (encadré 1).

### Encadré 1

#### Un séquençage complet du génome humain de moins en moins cher

Après treize années de recherche, le premier séquençage du génome humain aboutit en 2003, pour un coût total estimé à plus de 3 milliards de dollars. Ce prix tombe à 10 000 dollars en 2010 et à 1 000 dollars en 2012. On considère même que, d'ici 2015, un séquençage de génome sera à peu près instantané et accessible pour seulement 100 dollars. Certes, les annonces ne précisent pas ce qui est réellement compris dans ces prix et il est fort possible que l'analyse des résultats en soit exclue. Quoi qu'il en soit, cette chute des prix préfigure l'avènement du séquençage du génome pour tous et donc l'accumulation d'informations qui pourront servir de base à la prédiction de maladie.

Dans le début des années 1980, la génomique est bouleversée par les progrès de la biologie moléculaire et de l'informatique. On peut alors comparer les différences de séquence entre individus et voir si elles se traduisent par des pathologies. Appliquées initialement aux maladies génétiques rares, ces recherches ont permis de localiser de nombreux gènes responsables, de comprendre les mécanismes physiopathologiques et d'initier des projets thérapeutiques.

Face à l'enthousiasme suscité, l'envie se fait rapidement jour d'étudier les maladies les plus fréquentes (diabète, maladie d'Alzheimer, etc.) dont l'étiologie<sup>(10)</sup> ne se réduit pas à la mutation d'un seul gène mais d'une multitude de facteurs génétiques, comportementaux, culturels et environnementaux. Dans les années 2000, avec le développement des technologies de séquençage à haut débit, on assiste à la multiplication des études d'association pangénomique (Genome Wide Association Studies), qui comparent les génotypes de milliers de personnes et leur expression, ou phénotype<sup>(11)</sup>, pour déterminer des facteurs de risque génétiques. Cela marque le début des usages cliniques de la médecine prédictive.

L'engouement de la recherche publique pour la médecine prédictive s'est rapidement étendu au secteur privé.

D'une part, la médecine prédictive est de plus en plus au cœur de la stratégie des industries pharmaceutiques. Pour ces dernières, il s'agit d'optimiser l'efficacité des

[3] La pénétrance correspond au pourcentage de gens qui, ayant la mutation, sont atteints.

[4] Montgolfier S. de (2008), "Tests génétiques et impacts sur la société", *Études et synthèses Insem*.

[5] Mallal et al. (2008), "HLA-B\*5701 Screening for Hypersensitivity to Abacavir", *The New England Journal of Medicine*.

[6] The International Warfarin Pharmacogenetics Consortium (2009), "Estimation of the Warfarin Dose with Clinical and Pharmacogenetic Data", *The New England Journal of Medicine*.

[7] [www.warfarindosing.org](http://www.warfarindosing.org).

[8] Pour autant, des dosages sanguins peuvent aussi avoir une valeur prédictive. Par exemple, le rétinol sérique serait un marqueur biologique prédictif du risque fracturaire dans la population masculine.

[9] Séquençer veut dire rapporter l'ordre de distribution des milliards de bases composant un génome et identifier les séquences correspondant à des gènes.

[10] Étude des causes et des facteurs d'une maladie.

[11] Le phénotype est l'ensemble des caractères observables d'un individu.

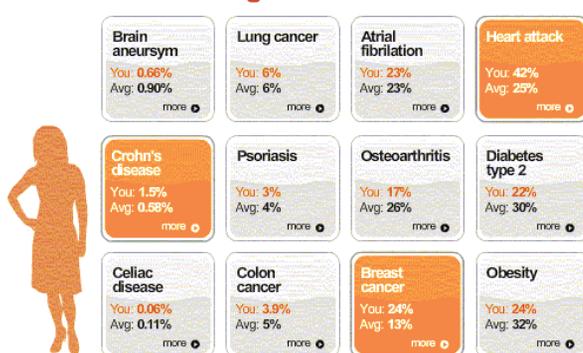
médicaments par la réalisation systématique de tests génétiques, d'éviter la survenue d'effets indésirables pouvant mener au retrait du marché, d'améliorer le service rendu et donc de justifier le prix.

Par exemple, les équipes de Roche recherchent dès les premières phases de développement d'une molécule les marqueurs génétiques qui pourront déboucher sur un "test compagnon". Le groupe suisse compterait aujourd'hui 169 travaux de ce type, contre seulement 10 en 2005<sup>(12)</sup>.

Cependant, si ce nouveau paradigme soulève d'énormes espoirs, ils tardent à se concrétiser car l'analyse de la succession des mécanismes biologiques suivant la prise d'un médicament s'avère complexe.

D'autre part, **des sociétés en ligne**, telles que deCODE genetics basée en Islande, 23andMe ou Navigenics aux États-Unis, **proposent une analyse individuelle du génome**. Celle-ci cherche à mettre en évidence des risques de maladies communes ou des traits non pathologiques (par exemple, les capacités mnésiques). Ces sociétés procèdent à des tests de pharmacogénétique et à visée généalogique (figure 1). Par exemple, la firme 23andMe commercialise pour un peu plus de 200 dollars un kit de prélèvement salivaire afin de connaître sa susceptibilité à développer 162 maladies (ou à y résister), à réagir à 20 médicaments, ainsi qu'à présenter 55 caractéristiques individuelles (comme la couleur des yeux). Proposé directement au public sans l'intervention de médecins (*Direct to Consumer Test*), ce test inclut la mise à jour du profil pendant une année, au gré des nouvelles découvertes.

Figure 1  
Exemple de résultats de tests proposés par une société en ligne.



En orange, les pathologies pour lesquelles l'individu [« you »] a un surplus de risque par rapport à la population générale [« avg »]. Sur cette figure, l'individu combine des risques accrus pour la maladie de Crohn, le cancer du sein et les attaques cardiaques.

Source : Site Navigenics.

Pour certains, cette "marchandisation du génome" n'est pas sans intérêt pour la recherche médicale. En effet, ces



[12] *Le Temps*, 2 décembre 2011.

[13] Certaines parties de l'ADN sont dites "codantes", c'est-à-dire qu'elles sont traduites en protéines, les autres sont dites "non codantes", mais ne sont pas forcément sans influence sur l'expression des parties codantes. Voir les conclusions du projet ENCODE publiées le 5 septembre 2012.

[14] Le polymorphisme génétique est le fait qu'un gène ait plusieurs formes.

[15] Manolio T. et Collins F. (2009), "The hapmap and genome-wide association studies in diagnosis and therapy", *Annual Review of Medicine*.

[16] Pujol J.-L. (2011), "Le clonage humain", *La note d'analyse*, n° 225, Centre d'analyse stratégique.

entreprises privées, conscientes que leur activité dépend des progrès de la connaissance, mènent elles-mêmes des recherches à partir de leurs immenses bases de données génétiques.

Toutefois, pour beaucoup, au-delà des critiques sur la pertinence scientifique de ces tests, l'usage non médical qui pourrait en être fait doit appeler à la plus grande vigilance. L'analyse de ces tests se fonde sur un état de l'art scientifique *a priori* sérieux, mais encore trop peu étoffé. De plus, l'absence d'encadrement médical lors de la délivrance de tels résultats inquiète un grand nombre d'observateurs.

En dépit de l'enthousiasme suscité par la création de ces compagnies, le marché des tests génétiques peine à décoller aujourd'hui. La demande concerne d'ailleurs moins la prédiction médicale que la **recherche de l'origine géographique de lointains ancêtres, voire la localisation de parents éloignés**.

### ( La médecine prédictive, une impasse ?

La fascination pour la génétique des années 1990 a laissé place à une vision plus nuancée, la médecine prédictive se heurtant encore à de nombreuses limites. À l'heure actuelle, **les connaissances qui permettraient l'interprétation des marqueurs biologiques et surtout des données du génome sont largement parcellaires**.

De grands progrès restent ainsi à effectuer concernant l'identification de l'ensemble des parties codantes, voire non codantes, du génome<sup>(13)</sup> qui pourraient influencer sur le déclenchement et l'évolution d'une maladie. Le travail de recherche à fournir est encore gigantesque, les polymorphismes<sup>(14)</sup> étant très nombreux. Par exemple, en 2008, plus de 30 points du génome avait été identifiés comme étant corrélés à la maladie de Crohn<sup>(15)</sup>.

Dans la quête de la compréhension de la complexité du génome, le développement du séquençage complet devrait apporter de précieuses informations. Cependant, progresser dans l'identification de gènes liés au développement de certaines maladies ne saurait suffire pour établir des risques individuels. En effet, il existe d'une part des **interactions entre gènes**, encore très peu étudiées, et d'autre part des **interactions entre gènes et environnement**. Là encore, les connaissances en épigénétique, soit la modification de l'expression des gènes liées à l'influence de l'environnement, sont encore embryonnaires<sup>(16)</sup>. Ce constat est particulièrement vrai pour les **maladies communes, multigéniques et multifactorielles**, comme l'asthme, les maladies cardiovasculaires ou encore le diabète.

Ainsi, prévoir le passage du **génotype au phénotype, la gravité et l'âge d'apparition d'une maladie multifacto-**

rielle est quasi impossible en l'état actuel de la science. Et quand les avancées de la connaissance permettent de mettre en évidence certaines corrélations, elles sont encore souvent peu utiles en matière de calcul de risque. Par exemple, la maladie cœliaque (ou l'intolérance au gluten) est liée à la présence de formes particulières des gènes DQA1 et DQB1. Toutefois, leur prévalence est forte : 1 personne sur 4 est porteuse de ces variations dans la population. Aussi, bien que ces porteurs aient 25 fois plus de risque de développer la maladie que les non-porteurs, ils ont également 99 % de chances de ne pas l'avoir<sup>(17)</sup>.

Il semble donc prématuré de tirer des pourcentages de risque des découvertes associant des maladies à la présence de certains marqueurs génétiques. Indépendamment de la qualité même des tests, qui varie selon les laboratoires et les pays de l'OCDE<sup>(18)</sup>, ce sont surtout les méthodes de calcul de risque, notamment celles appliquées aux tests disponibles sur Internet<sup>(19)</sup>, qui posent des problèmes. Les calculs réalisés à l'heure actuelle additionnent les risques alléliques sans prendre en compte l'interaction entre les gènes et l'environnement<sup>(20)</sup>. Ils ont dès lors peu de sens et sont d'ailleurs régulièrement discordants d'une entreprise à l'autre<sup>(21)</sup>.

La valeur prédictive des tests existants étant généralement faible, l'histoire familiale se révèle souvent, pour l'instant, une meilleure base de prédiction que le séquençage ADN. En effet, l'environnement familial influe sur les risques de développer certaines maladies à travers la transmission combinée d'habitudes de vie et de facteurs génétiques.

Le développement d'une médecine prédictive dépendra de l'accumulation des connaissances en étiologie et de la détection de marqueurs et de gènes ayant un réel intérêt clinique. Certains chercheurs pensent même que cette quête est illusoire et que ce type de médecine ne deviendra jamais une réalité. Ainsi suggèrent-ils de développer avant toute chose des politiques visant à agir sur les déterminants environnementaux et sociaux de la santé, dont on sait toute l'importance.

### Un strict encadrement législatif en France

Si la médecine personnalisée pourrait contribuer à une meilleure prise en charge des individus, il convient de demeurer lucide sur les possibilités offertes et ne pas en surévaluer l'apport immédiat. Des progrès immenses restent à faire afin de traduire cette possibilité en réalité clinique. Dans l'attente, il incombe aux pouvoirs publics de protéger les citoyens d'une exploitation abusive et malhonnête de ces tests.

Les tests génétiques sont ainsi encadrés par plusieurs textes internationaux, comme le protocole additionnel à la Convention sur les droits de l'homme et la biomédecine relatif aux tests génétiques à des fins médicales. Néanmoins, la réglementation en la matière dépend largement des États.

En France, la législation est assez stricte depuis l'adoption des lois de bioéthiques de 1994. Les tests génétiques ne peuvent être entrepris que dans une visée médicale, judiciaire ou de recherche, et sont nécessairement prescrits par un médecin. La réalisation des tests est également fortement encadrée. Il est tout d'abord impératif de recueillir au préalable le consentement éclairé du patient. En outre, les laboratoires doivent posséder une autorisation et les praticiens validant les résultats doivent avoir obtenu un agrément.

Lors de la révision de la loi de bioéthique en 2011, le consensus des scientifiques sur le caractère peu fiable des tests prédictifs a renforcé la légitimité de la position prudente de la France. Cependant, la facilité avec laquelle il est possible d'obtenir un test sur Internet tend à démontrer l'insuffisance d'une simple mesure d'interdiction. Certains préconisent donc de mener des campagnes d'information pour expliquer les limites de ces tests. Dans un but pédagogique plus global, quelques pays, comme le Danemark ou les États-Unis, ont inclus dans leurs programmes scolaires une éducation à la bioéthique et une éducation scientifique qui permettent à chacun de distinguer ce qui relève de l'ordre du probable ou du fantasme (encadré 2).

En outre, les médecins devraient être associés à cet effort de pédagogie. Pour cela, il est important que leur formation soit suffisante et actualisée afin qu'ils puissent conseiller les patients tentés par ces tests.

#### Encadré 2

##### Une expérimentation débattue

Durant l'année scolaire 2011-2012, certaines prestigieuses universités américaines (Berkeley et Stanford) ont proposé à leurs étudiants de bénéficier d'un test génétique pour moins de 50 dollars. À cette offre est associé un module de cours "Genomics and personalized medicine<sup>(22)</sup>" dont l'objectif est de débattre sur les enjeux éthiques, l'encadrement juridique, les limites des tests mais aussi leurs bénéfices potentiels. Le format est un mélange de conférences et d'ateliers pratiques. Le cours est destiné aux étudiants médecins, aux doctorants chercheurs en génétique humaine et plus généralement à toute personne intéressée par la médecine prédictive.

Présentées comme un moyen de préparer les étudiants à formuler des choix éclairés en matière de santé sur la base

[17] Mandel J.-L. (2010), *op. cit.*

[18] L'OCDE a publié en 2007 un guide de bonnes pratiques en matière de qualité des tests génétiques.

[19] Government Accountability Office (2010), *Report on Direct-to-Consumer Genetic Tests, Misleading Test Results Are Further Complicated by Deceptive Marketing and Other Questionable Practices.*

[20] [www.decodehealth.com/calculating-risk](http://www.decodehealth.com/calculating-risk).

[21] NG P., Murray S., Levy S., Venter C. (2009), "An agenda for personalized medicine", *Nature*.

[22] <http://stanford.edu/class/gene210/>.

de leur patrimoine génétique, ces initiatives ont toutefois fait l'objet de critiques. En effet, des professeurs et plusieurs groupes de recherche et de réflexion ont alerté les universités des potentielles retombées négatives d'un tel programme, qui semble notamment cautionner l'achat de tests en vente directe. Par ailleurs, ils ont également souligné qu'en matière d'amélioration concrète de la santé des étudiants, il s'agirait sans doute de renforcer en priorité les cours d'éducation sexuelle et de lutte contre les addictions.

## ➤ LA MÉDECINE PRÉDICTIVE DEVENUE RÉALITÉ, QUELLES POURRAIENT ÊTRE SES POTENTIALITÉS ET IMPLICATIONS ?

Si la connaissance venait à progresser, la médecine prédictive pourrait avoir des conséquences sanitaires et sociétales telles qu'il convient de les anticiper afin d'envisager un cadre propice pour en tirer les bénéfices tout en limitant les risques (voir figure 2 page 11).

### ⤵ Vers l'adoption de comportement préventifs individualisés ?

Les tenants de la médecine prédictive en soulignent les potentialités préventives, améliorant à la fois la santé des usagers, la pratique des professionnels et l'efficacité des systèmes de santé. L'idée serait d'intervenir au plus tôt et de donner une information d'un nouveau type, plus individualisée, et donc plus incitative au changement de comportement.

**Or prédire n'est pas prévenir.** Même si elle était possible, la transformation de la prédiction d'un risque en prise en charge clinique visant à empêcher, retarder ou affaiblir la maladie ne serait pas chose aisée. Une fois les facteurs de prédisposition déterminés, quelle stratégie préventive et thérapeutique adopter face à un résultat incertain ?

Tout d'abord, **l'impact d'un calcul de risque sur le comportement de chacun est difficile à prévoir.** En effet, la notion de risque est complexe à appréhender<sup>(23)</sup>. Certains soulignent que **définir la probabilité de survenue d'une maladie peut être perçue comme le dévoilement d'une certitude**, comme l'apposition du sceau de la génétique sur un destin personnel déjà tracé<sup>(24)</sup>. Cette perception peut alimenter **un stress** qui pourrait avoir des **répercussions négatives sur le psychisme et la santé des individus**. Par exemple, l'entreprise Life Length propose d'ores et déjà aux consommateurs de mesurer la longueur des télomères<sup>(25)</sup> pour estimer le temps qui leur reste à vivre. Une telle information est-elle propice à un changement de comportement ou est-elle simplement une source d'angoisse ?

Les premières études ne semblent pas déceler d'**impact psychologique particulier** à la suite du calcul de prédispositions<sup>(26)</sup>, particulièrement lorsque les tests sont accompagnés de conseils et d'explications. En revanche, elles **ne montrent pas non plus l'adoption d'un comportement préventif** (changement de régime, pratique d'une activité sportive...)<sup>(27)</sup>. En effet, un risque qui, même supérieur à la moyenne, reste faible est **peu susceptible de faire changer les comportements**<sup>(28)</sup>.

D'ailleurs, il se pourrait même que les personnes qui auraient précisément besoin d'adopter des comportements sains soient **démotivées par des facteurs d'ordre génétique**. Un certain fatalisme découlant d'un "mauvais" capital génétique individuel **amoindrirait l'intérêt pour des informations de prévention**, soit l'effet inverse de ce que vise la médecine prédictive<sup>(29)</sup>. En outre, le test négatif ne veut pas dire que la personne ne sera pas touchée par la maladie et la découverte d'un gène protecteur pourrait même **alimenter des comportements à risque**.

Ainsi, la prescription médicale devrait s'accompagner d'un effort de pédagogie. Le suivi effectué par le médecin s'avérerait fondamental en cas de progrès de la médecine prédictive et des connaissances en matière d'interaction gène-environnement. Toutefois, **l'action d'un professionnel de santé n'aurait d'utilité que si la prévision pouvait s'accompagner d'un traitement ou d'un programme de prévention**. Par exemple, si les calculs de risque pour la sclérose en plaques s'affinaient (certains sont déjà disponibles sur Internet), ils auraient peu d'utilité en termes de prise en charge si aucun traitement n'était concomitamment développé pour empêcher l'apparition de la maladie ou enrayer sa progression.

Notons d'ailleurs que le développement de la médecine prédictive pourrait faire **changer de nature la responsabilité des praticiens**, avec l'affaiblissement du diptyque diagnostics/traitements curatifs au profit du couple probabilités de survenue/stratégies de prévention. Si les connaissances scientifiques évoluaient très rapidement, il faudrait clarifier les limites de la responsabilité médicale dans le cadre de la détermination de stratégies de prévention de pathologies absentes, s'inscrivant dans un temps long et impliquant le comportement individuel du patient.

En cas de sensibilisation adéquate des usagers et des professionnels, l'essor de la médecine prédictive pourrait ainsi faire évoluer le système de santé **du curatif vers le préventif, d'une médecine des malades vers une médecine des bien-portants**.

[23] Ormond K. et al., [2010], *op. cit.* ; Ramani D., Saviane C., [2010], "Genetic tests: between risks and opportunities, the case of neurodegenerative diseases", *EMBO Reports*.

[24] Jordan B. [2011], "Les tests génétiques grand public en «caméra cachée»", *Médecine/Sciences*.

[25] Extrémités des chromosomes qui diminuent avec l'âge et en fonction des habitudes de vie.

[26] Green R. et al. [2009], "Disclosure of APOE Genotype for Risk of Alzheimer's Disease", *The New England Journal of Medicine* ; Bloss C. et al. [2011], "Effect of direct-to-consumer genomewide profiling to assess disease risk", *The New England Journal of Medicine*.

[27] Bloss C. et al. [2011], *op. cit.*

[28] Jordan B. [2008], "Génome personnel" : gadget ou révolution ?, *Médecine/Sciences*.

[29] O'Neill S. et al. [2010], "Preferences for genetic and behavioural health information : the impact of risk factors and disease attribution", *Annals of Behavioral Medicine*.

Dans cette optique, l'utilisation du génome à grande échelle dans les systèmes de santé pourrait se développer, comme dans les îles Féroé (encadré 3), bien que le séquençage de masse soit critiqué à la fois du point de vue de la confidentialité des données et de l'utilité clinique. En effet, **chaque individu est porteur de nombreux risques** dans son génome<sup>(30)</sup>, ce qui pose la question du **trop plein d'information**. D'ailleurs, la majorité des personnes auraient un profil de risque dans la moyenne. La **plus-value par rapport à des campagnes de prévention de masse devrait donc être mesurée**.

 **Encadré 3**

**Le projet FarGen : les îles Féroé visent un séquençage génétique complet de tous leurs habitants.**

L'archipel des îles Féroé souhaite créer un précédent en offrant à tous ses habitants (environ 50 000 personnes) un séquençage complet de leur génome dans les cinq prochaines années. Selon ce projet, les données génétiques seraient ensuite ajoutées au dossier médical informatisé dont dispose d'ores et déjà chaque habitant. Ces données seraient accessibles à l'utilisateur s'il le souhaitait et à son médecin, si celui-ci considérait ces données utiles dans la prise en charge de son patient. Les ADN séquencés seraient également mis à profit par la recherche. Un tel projet, cherchant à séquencer une population entière et ainsi alimenter une banque de données biologiques nationale, avait déjà vu le jour en Islande à la fin des années 1990. En décembre 1998, les parlementaires avaient en effet voté une loi confiant la gestion et l'exploitation exclusive de la banque de données à la société privée deCODE genetics. Ce projet a été abandonné à la suite d'une décision de la Cour suprême islandaise en 2003, qui pointait des lacunes en matière de protection des données et de la vie privée.

**Vers une utilisation de la médecine prédictive par l'assurance maladie à des fins de régulation ?**

Au-delà de l'effort de prévention effectué auprès des individus et des équipes soignantes, si les connaissances en matière de risque venaient à s'accroître, **le rôle même de l'assureur public devrait évoluer**, à la fois pour contribuer à **l'amélioration de la santé de la population mais aussi pour maîtriser les dépenses**. Cela pourrait intervenir par l'intermédiaire d'offres de service différenciées et d'instruments financiers, dans une optique d'incitation ou de sanction.

En effet, si l'assurance maladie disposait d'informations relatives au profil de risque des individus, elle pourrait **proposer des services d'accompagnement et de coaching personnalisé<sup>(31)</sup>** pour prévenir ou retarder l'apparition de maladies coûteuses. Les **complémentaires santé** pour-

raient également investir le champ de la **prévention ciblée**.

Toutefois, les personnes à profil de faible risque accepteraient-elles de financer la prise en charge des profils génétiques à risque élevé et jusqu'à quel point ? Même si l'attachement français aux principes de non-discrimination et de mutualisation du risque est fort, l'émergence de la médecine prédictive pourrait le fragiliser. La connaissance fine des risques individuels, si elle se révélait possible, pourrait ainsi entraîner un **délitement, ou du moins un affaiblissement, de la solidarité et de la couverture mutualisée du risque santé**.

Par ailleurs, l'assureur public adopte de plus en plus des politiques d'incitation à des comportements vertueux, tendance qui pourrait être renforcée par l'émergence de la médecine prédictive. La médecine prédictive, combinée à des services de prise en charge personnalisés, serait susceptible de déboucher sur **une plus grande responsabilisation de l'utilisateur**. Le risque subi (capital génétique) pourrait alors être distingué du risque choisi (habitude de vie).

En cas de comportements vertueux, la part de la prise en charge couverte par le système solidaire d'assurance sociale pourrait être augmentée. Dans le cas contraire, elle pourrait être réduite. Les comportements à risque, comme le fait de fumer, sont d'ailleurs déjà une des raisons pour lesquelles de nombreux Américains payent leur couverture santé plus chère. Ces surprimes ne sont annulées qu'en cas d'inscription dans des programmes de sevrage tabagique.

Au-delà, l'assurance maladie pourrait vouloir différencier les remboursements de médicaments en fonction des résultats des tests pharmacogénétiques, non seulement pour garantir plus de qualité et de sécurité à l'utilisateur, mais aussi pour éviter d'inutiles dépenses. Toutefois, on peut s'interroger sur l'utilisation de la médecine prédictive dans une optique de réduction des dépenses. En effet, elle pourrait entraîner un surcoût lié au financement des tests génétiques, des stratégies préventives<sup>(32)</sup> et des médicaments personnalisés.

Plus généralement, la médecine prédictive pourrait impliquer une **redéfinition des libertés et des contraintes individuelles** dans le système de couverture collective du risque. Il ne faudrait toutefois pas que la **responsabilité individuelle** éclipse les **responsabilités collectives** en matière de santé publique, tant au niveau de l'information que de la couverture de chacun.

De surcroît, le bilan des responsabilités individuelles ne peut fonder à lui seul une politique de santé car l'environnement et les conditions de vie ont un énorme impact sur l'état de santé. En outre, le risque dit "choisi" dépend



[30] Chaque personne serait porteuse d'environ 100 variations génétiques potentiellement graves, Ormond K. *et al.* [2010], *op. cit.*

[31] Reynaudi M. et Sauneron S. [2011], "Quelles opportunités pour l'offre de soin de demain ? La télésanté", *La note d'analyse*, n° 255, Centre d'analyse stratégique.

[32] Gerber S.-L. [2010], "Prévenir vaut-il toujours mieux que guérir ?", *La note d'analyse*, n° 167, Centre d'analyse stratégique.

aussi de facteurs sociaux et ne découle donc pas entièrement de la liberté de chacun. Les politiques qui influent sur les déterminants de la santé (urbanisme, logement, environnement) n'étant pas du ressort de l'assurance maladie, ce constat interroge les frontières traditionnelles entre acteurs publics.

### **Vers une forme de discrimination fondée sur les caractéristiques génétiques ?**

La médecine prédictive pourrait être détournée de sa fonction sanitaire et être exploitée à des fins non médicales, tout particulièrement dans le **domaine des assurances et du travail**.

Ainsi, le développement de la médecine prédictive, qui **individualiserait fortement les risques**, pourrait avoir un **impact important sur les mécanismes d'assurance**. En effet, la prédiction lèverait le "voile d'ignorance" sur lequel repose le principe de la mutualisation du risque : l'existence d'un doute sur la survenue d'un évènement motiverait la souscription d'une couverture pour y parer.

Afin de faire payer à chaque personne le risque qu'elle représente, **les assureurs sont libres de segmenter les assurés**, c'est-à-dire de fixer les primes en fonction des profils, **voire de refuser d'assurer certaines personnes**. Le développement des capacités prédictives de la médecine pourraient inciter les assureurs à faire une **sélection génétique des assurés**. Ces informations nouvelles seraient susceptibles de diminuer l'assurabilité des uns et de réduire les primes des autres.

À l'heure actuelle, **l'état de santé est déjà pris en compte dans les contrats d'assurance**. Contrevenir au **principe de bonne foi** en cachant une pathologie, des antécédents médicaux et familiaux à un assureur peut provoquer une annulation du contrat. En France, afin de permettre au plus grand nombre de s'assurer, différents mécanismes ont été mis en place pour que la santé ne pèse pas trop lourd sur les possibilités d'assurance. Par exemple, la convention Aeras<sup>(33)</sup> vise à permettre aux personnes à risque aggravé de santé de pouvoir s'assurer et emprunter.

Face aux calculs de risque encore peu fiables découlant des tests prédictifs, **de nombreux États en ont limité, voire interdit, l'utilisation par les assureurs**. Certains assureurs ont protesté contre la création d'une **asymétrie d'information** qui pourrait conduire à une sélection adverse, c'est-à-dire une surreprésentation des personnes fortement à risque au sein de leur clientèle, et donc une augmentation générale des primes. C'est notamment le cas des assureurs de la dépendance aux États-Unis.

Ils craignent en effet que l'accès aux tests prédictifs d'Alzheimer, fondé sur la présence d'un allèle spécifique du gène ApoE, n'encouragent à s'assurer que les personnes à fort risque<sup>(34)</sup>.

Toutefois, la majorité des assureurs mondiaux ne s'est pas opposée farouchement à l'interdiction de l'utilisation de la génétique dans leur secteur. En effet, les questionnaires sur l'état de santé suffisent pour l'instant à établir un profil de risque proche, en général, de la réalité. Cependant, si la médecine prédictive devenait plus fiable, cette position changerait probablement.

En France, après un moratoire établi en 1994, la loi **exclut désormais l'utilisation des tests génétiques dans le domaine des assurances**<sup>(35)</sup>. Tout comme en Espagne et en Belgique, les assureurs français ne peuvent faire payer une surprime en fonction de résultats génétiques. De la même manière, nul ne peut se prévaloir d'un profil peu risqué pour bénéficier de primes moins élevées.

**Certains pays ont quant à eux fixé un seuil de couverture au-delà duquel les assurances peuvent avoir accès aux résultats d'un test génétique**. C'est le cas de la Suisse ou encore de l'Angleterre (encadré 4). Ainsi, les assureurs helvètes ne peuvent demander à un client d'effectuer un test génétique. Ils ont néanmoins la possibilité de se faire communiquer les résultats d'un test déjà effectué pour les couvertures très importantes. Ce type de législation risque toutefois d'être contre-productive en matière de santé publique car elle peut décourager les personnes de se faire tester<sup>(36)</sup>.

Par ailleurs, une libéralisation de l'utilisation assurancière des tests génétiques dans certains pays seulement pourrait mener au développement d'un "tourisme de l'assurance". Les personnes les plus prédisposées aux risques génétiques pourraient chercher à s'assurer dans les pays interdisant les tests génétiques afin de ne pas payer de surprime, et inversement<sup>(37)</sup>.

#### **Encadré 4**

##### **Génétique et assurances : le moratoire anglais**

En Angleterre, l'utilisation des tests génétiques prédictifs dans le cadre de l'assurance est très limitée. En effet, en vertu d'un moratoire, signé en 2001 (reconduit depuis jusqu'en 2017) entre le ministère de la Santé et l'association des Assureurs britanniques (ABI), les résultats de tests génétiques prédictifs et pré-symptomatiques ne peuvent affecter la capacité d'un individu à s'assurer, en dehors des assurances vie excédant les £500 000 (3 % des contrats). En outre, au-delà de ce seuil, seuls les tests approuvés par le ministère peuvent être utilisés, ce qui a été le cas en 2012 pour le test de la maladie de Huntington.



[33] Convention S'assurer et emprunter avec un risque aggravé de santé signée en 2007 et modifiée en 2011.

[34] Taylor D. et al. (2010), "Genetic Testing For Alzheimer's And Long-Term Care Insurance", *Health Affairs*.

[35] Articles 16-10 du Code civil, 225-1 du Code pénal, L133-1 du Code des assurances et L. 1141-1 du Code de la santé publique.

[36] Tabuteau D. (2006), *Les nouvelles frontières de la santé*, Paris, Jacob-Duvernet.

[37] Rappelons qu'au niveau européen la liberté de prestation de services permet à tout intéressé de choisir librement son assureur dans l'ensemble des pays de l'Union européenne.

Indépendamment des assureurs, la détermination de risques de santé pourrait aussi intéresser les employeurs, soit pour introduire une sélection à l'embauche, soit pour gérer leurs ressources humaines. Si l'employeur disposait des profils de risque de ses employés ou des candidats à l'embauche, il pourrait éviter de proposer un poste qui exposerait une personne à un facteur environnemental qui, au vu de ses prédispositions génétiques, serait susceptible de déclencher une maladie.

La connaissance des profils de risque génétique pourrait aussi mener à une sélection à l'embauche des personnes à "bon profil génétique", afin, par exemple, de limiter les jours d'absence des salariés ou de privilégier des capacités physiques ou intellectuelles utiles à l'entreprise. D'aucuns pourraient craindre que la génétique permette à un employeur de négliger la prévention en se défaussant sur le terrain génétique, "l'inné", de ces employés. De nombreux pays ont donc adopté des réglementations afin de se prémunir contre ce type de discriminations. En France, cette protection relève du Code pénal qui sanctionne les discriminations, quelles qu'elles soient. L'Allemagne<sup>(38)</sup> et les États-Unis ont, quant à eux, adopté une réglementation plus spécifique (encadré 5).

#### Encadré 5

##### Lois GINA et CalGINA : protéger les consommateurs américains contre la discrimination génétique

Entrée en vigueur en 2009 aux États-Unis, la loi Gina (Genetic Information Non Discrimination Act) protège les usagers contre la discrimination génétique dans le domaine de l'assurance santé et de l'emploi. Certains États fédérés ont par ailleurs étendu cette protection. La Californie, par exemple, a voté la loi CalGINA, qui, à partir de 2012, empêchera toute utilisation de tests génétiques préalable à l'accès aux soins, à l'assurance dépendance, aux prêts immobiliers, au logement ou à tout type de services et commerces.

Ces lois ont notamment fait suite à une jurisprudence américaine de 2001 qui a vu la Commission fédérale pour l'égalité de traitement dans le travail introduire une action en justice contre une entreprise procédant à des tests génétiques sur ses salariés, en l'occurrence la Burlington Northern Santa Fe Railroad. La compagnie de chemin de fer cherchait à vérifier dans le sang de ses employés l'absence d'un gène du chromosome 17, ou sa mutation, qui favoriserait la prédisposition au syndrome du canal carpien. Elle souhaitait ainsi prouver que les douleurs des ouvriers n'étaient pas dues aux conditions de travail.

#### Vers une reproduction guidée par la prédiction ?

Outre le risque discriminatoire, l'essor de la médecine prédictive pourrait avoir un impact sur la reproduction humaine. En effet, une société imprégnée par le principe de précaution pourrait être tentée d'utiliser la médecine prédictive comme médecine de l'évitement, passant de la prédiction à la sélection.

Aujourd'hui, les diagnostics prénataux (DPN) et préimplantatoires (DPI) sont strictement encadrés en France. Le DPI, qui consiste à rechercher sur un embryon *in vitro* une maladie monogénique, n'est pratiqué que si le couple est reconnu comme risquant de transmettre une maladie grave. Cette technique est alors restreinte à la recherche d'anomalies génétiques d'une particulière gravité, c'est-à-dire reconnues comme menant à une maladie incurable au moment du diagnostic. Notons que la proposition du Conseil consultatif national d'éthique (CCNE) de rechercher systématiquement lors d'un DPI les embryons ayant une trisomie 21 a été rejetée par les législateurs lors de la révision de la loi de bioéthique<sup>(39)</sup>. Contrairement à l'Angleterre, aucune liste de pathologies ouvrant droit à un DPI ou un avortement thérapeutique n'a été dressée en France. Les décisions de reproduction sélective (interruption médicale de grossesse ou sélection des embryons) ne relèvent pas que du désir parental : elles découlent de conclusions collégiales, associant médecins et patients, prises au sein des centres pluridisciplinaires de diagnostic prénatal (CPDPN).

Les DPN et DPI ne sont donc pas utilisés à ce jour dans le cadre de la médecine prédictive. Cependant, il n'est pas à exclure qu'un tel usage puisse se développer quand le DPI sera moins risqué en terme de survie de l'embryon ou que la recherche de facteurs de risques génétiques sur le fœtus sera facilitée grâce au développement des analyses effectuées à partir du sang maternel (encadré 6).

#### Encadré 6

##### Un diagnostic prénatal par une simple prise de sang

Il est désormais possible d'isoler l'ADN du fœtus dans le sang de la mère pour l'analyser. Pour l'instant, cette analyse est limitée à la détection de la trisomie 21<sup>(40)</sup>. La recherche du chromosome supplémentaire fœtal intervient vers la 10<sup>e</sup> semaine, avec une réponse dans la semaine, soit dans le délai légal autorisant une interruption volontaire de grossesse. Elle permet ainsi d'éviter l'amniocentèse, un examen diagnostique invasif à l'origine de pertes fœtales et d'anxiétés importantes. Hong Kong propose depuis le premier trimestre 2012 un test de détection prénatale, dont la fiabilité s'élève à plus de 99 %. Depuis août 2012, ce type de test est également disponible en Suisse, en Allemagne, en Autriche et au Lichtenstein.

[38] Loi sur les tests génétiques chez l'être humain adoptée en 2008.

[39] Voir l'avis n° 107 du CCNE sur "les problèmes éthiques liés aux diagnostics anténatals : le diagnostic prénatal et le diagnostic préimplantatoire".

[40] Ehrlich M. et al. [2011], "Noninvasive detection of fetal trisomy 21 by sequencing of DNA in maternal blood: a study in a clinical setting", *American Journal of Obstetrics and Gynecology*.

D'ailleurs, la notion de "risque d'apparition d'une maladie" commence à être prise en compte dans le cadre du DPI, bien que ne soient pour l'instant concernées que les maladies monogéniques à pénétrance incomplète<sup>(41)</sup>. Ainsi, des cas de cancers familiaux précoces ont déjà justifié la sélection d'embryons lors d'une fécondation *in vitro* en France.

En outre, l'utilisation de la médecine prédictive dans le cadre de la reproduction pourrait être influencée par la tentation de "consommérisme génétique", qui opère un glissement de préoccupations sanitaires vers des attentes de l'ordre du désir. Certains couples peuvent déjà choisir des caractéristiques de leur futur enfant. En Californie, des cliniques proposent par exemple la pratique du DPI en vue de sélectionner le sexe de son enfant pour "pouvoir ressentir la joie d'élever à la fois un garçon et une fille"<sup>(42)</sup>. Autre illustration, aux États-Unis toujours, 3 % des cliniques proposant des DPI ont déjà répondu favorablement à des parents atteints d'une maladie génétique, comme la surdité, souhaitant que leur enfant soit porteur de la même pathologie<sup>(43)</sup>.

Par ailleurs, l'utilisation de la médecine prédictive pourrait être envisagée dans l'assortiment même des couples. L'appariement, certes minimal, existe d'ailleurs déjà dans les banques du sperme en France, afin que l'enfant ait quelques caractéristiques physiques du père pour faciliter son intégration dans la famille.

À l'étranger, l'usage de tests visant à établir si les couples désireux de fonder une famille sont "biologiquement compatibles" ou s'ils risquent de transmettre une maladie à leur descendance se répand, soit sous l'impulsion des ministères de la santé, soit par décision individuelle. Ces "tests génétiques pré-nuptiaux" visent principalement à lutter contre la transmission de maladies génétiques à forte prévalence dans certaines populations, comme la thalassémie à Chypre ou la maladie de Tay-Sachs dans la population juive ashkénaze. En 2004, l'Arabie saoudite a par exemple rendu obligatoire le test pour la drépanocytose et la thalassémie<sup>(44)</sup>. Progressivement, ces tests se diversifient et couvrent de plus en plus de pathologies génétiques. Ils se diffusent notamment aux États-Unis, en Asie et dans les pays du Golfe. Si les capacités prédictives de la médecine venaient à se préciser, l'appariement des couples en fonction des risques pourrait-il se développer au-delà des simples applications commerciales de "rencontres liées à la compatibilité génétique"<sup>(45)</sup> ?

Que la sélection s'effectue par le biais du DPI, du DPN ou par la décision même de procréer ou non, certains soulignent que, tant que le choix de l'embryon demeurera individuel et non porté par les autorités publiques, il ne s'agira pas d'eugénisme. Or cette distinction est relativement floue. En effet, les préférences individuelles sont liées aux normes sociétales, à l'image construite d'une personne saine et à l'acceptation du handicap.

**CONCLUSION** Quelles que puissent être les avancées de la recherche dans les années à venir, la complexité du vivant nous invite avant tout à beaucoup d'humilité en matière de prédiction.

À l'heure actuelle, la médecine prédictive est plus un concept, séduisant pour certains, angoissant pour d'autres, qu'une réalité. Or quelques-uns utilisent l'attrait qu'elle suscite à des fins commerciales, sans se soucier de son caractère encore peu fiable. Le strict encadrement législatif mis en place en France semble donc justifié, même s'il gagnerait à être couplé à des campagnes d'information.

Cependant, si la connaissance venait à progresser durablement, alors il conviendrait de réévaluer la balance bénéfiques/risques. L'association des citoyens s'avérerait probablement nécessaire pour décider la forme que pourrait prendre l'encadrement relatif à l'utilisation de la médecine prédictive. D'une part, les applications médicales pourraient être appelées à se développer afin de proposer des stratégies préventives plus efficaces car adaptées aux profils de risque. D'autre part, il s'agirait d'opter pour une stricte régulation permettant d'assurer la préservation du principe de solidarité sur lequel repose l'assurance maladie, mais aussi la non-sélection de la descendance et l'accès de tous aux assurances et emprunts bancaires.

► **Mots clés** : tests génétiques, risques, prédisposition, prévention, eugénisme, système assurantiel.



Mathilde Reynaudi et Sarah Sauneron<sup>(46)</sup>,  
département Questions sociales

[41] Quelques maladies génétiques présentent des défauts de pénétrance, c'est-à-dire qu'il est possible d'être porteur de l'allèle responsable de la pathologie sans pour autant la déclarer.

[42] [www.havingbabies.com/infertility-education/gender-selection/](http://www.havingbabies.com/infertility-education/gender-selection/).

[43] Baruch S. et al. [2006], *Genetic Testing of Embryos: Practices and Perspectives of US In Vitro Fertilization Clinics*, American Society for Reproductive Medicine.

[44] Memish Z., Saeedi M. [2011], "Six-year outcome of the national premarital screening and genetic counseling program for sickle cell disease and  $\beta$ -thalassemia in Saudi Arabia", *Annals of Saudi Medicine*

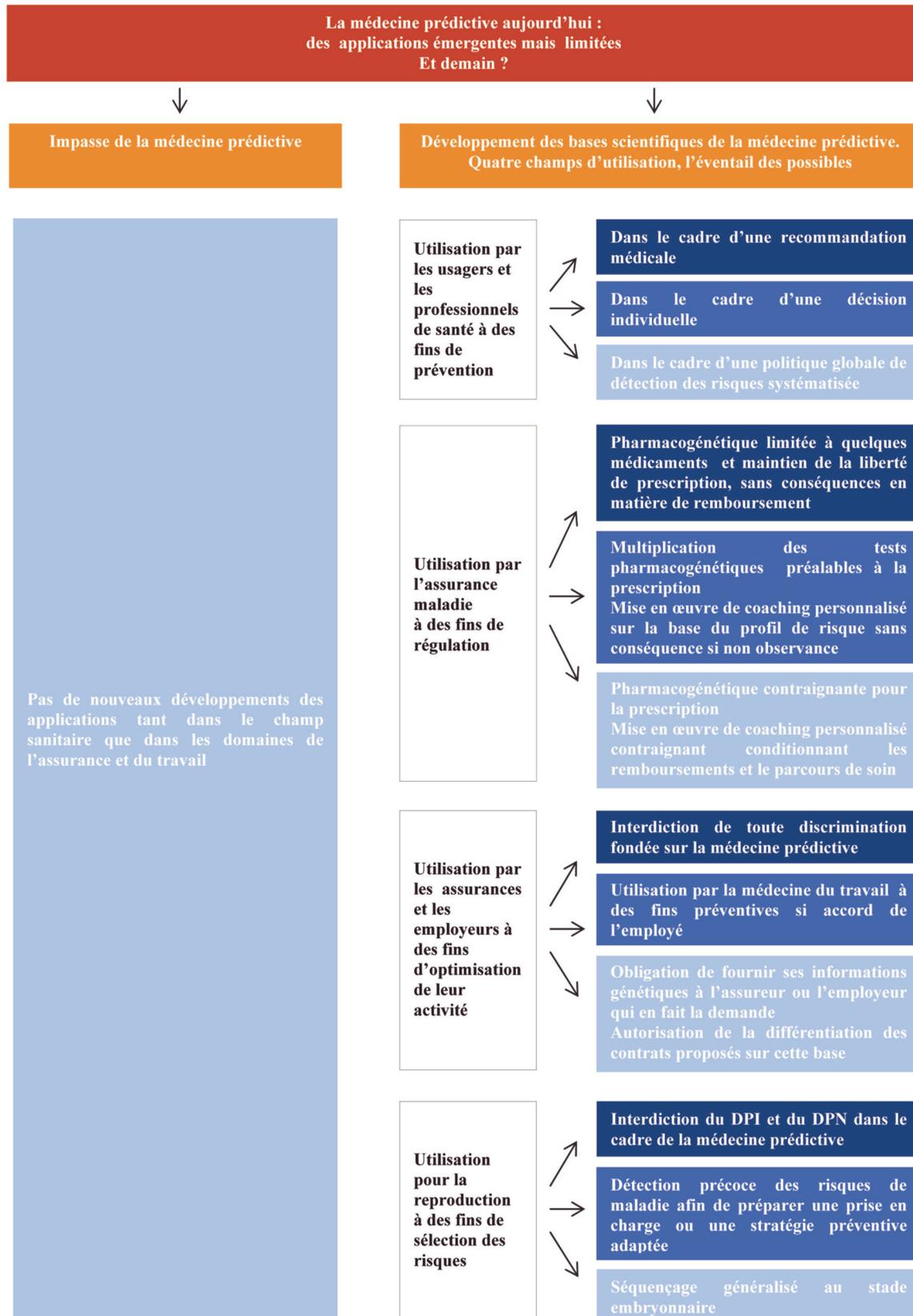
[45] Comme le propose par exemple le site *GenePartner*.

[46] Les auteurs tiennent à remercier : Véronique Cazals, Anne-Marie Papeix, Philippe Poiget et Alain Rouché (FFSA), Jean-François Chambon (Roche), Françoise Clerget (INSERM, Hôpital Paul Brousse), Marc Delpech (INSERM, Institut Cochin), Bogi Eliassen (FarGen), René Frydman (Hôpital Antoine Bécclère), Marcela Gargiulo (Institut de Myologie), Alain Grimfeld (CCNE), Cicely Hand et Mary Henderson (Kaiser Permanente), Patrick Merel (Portable Genomics), Arnold Munnich (INSERM, Hôpital Necker), Felix Schneuwly (Comparis.ch), Kari Stefansson (Decode), Dominique Stoppa-Lyonnet (Institut Curie), Jacques Testart (INSERM).

**Figure 2**  
**Quel avenir pour la médecine prédictive ? Éventail des possibles**

Ce schéma illustre les deux principales incertitudes qui entourent la médecine prédictive :

1. La promesse scientifique sera-t-elle tenue ?
2. Si oui, quelles utilisations seront développées par les individus, les entreprises, les assureurs privés et publics ? Le dégradé de bleu traduit l'éventail des régulations possibles : de la plus restrictive (bleu foncé) à la plus permissive (bleu clair).



DERNIÈRES  
PUBLICATIONS  
À CONSULTER

sur [www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr), rubrique publications

### Notes d'analyse :

- N° 288 ■ Pour une complémentarité du rail, de la route et du fleuve au service du transport de marchandises (septembre 2012)
- N° 287 ■ Une analyse des stratégies de désendettement public (septembre 2012)
- N° 286 ■ Convergence des économies européennes : vingt ans après (septembre 2012)
- N° 285 ■ La croissance chez les grands émergents : convergences et tensions (septembre 2012)
- N° 284 ■ L'ajustement de l'emploi pendant la crise. Une comparaison internationale et sectorielle (septembre 2012)
- N° 283 ■ Salaires et politiques sociales. Quelles perspectives ? (septembre 2012)
- N° 282 ■ Le cerveau et la loi : éthique et pratique du neurodroit (septembre 2012)

Retrouvez les dernières actualités du Centre d'analyse stratégique sur :

-  Internet : [www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr)
-  Facebook : [centredanalysestrategique](https://www.facebook.com/centredanalysestrategique)
-  Twitter : [Strategie\\_Gouv](https://twitter.com/Strategie_Gouv)



La Note d'analyse n° 289 - octobre 2012 est une publication du Centre d'analyse stratégique

Directeur de la publication : Vincent Chriqui, directeur général

Directeur de la rédaction : Hervé Monange, directeur général adjoint

Secrétaire de rédaction : Delphine Gorges

Dépôt légal : octobre 2012  
N° ISSN : 1760-5733

Contact presse : Jean-Michel Roullé, responsable de la communication  
01 42 75 61 37 / 06 46 55 38 38  
[jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr](mailto:jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr)



Le Centre d'analyse stratégique est une institution d'expertise et d'aide à la décision placée auprès du Premier ministre. Il a pour mission d'éclairer le gouvernement dans la définition et la mise en œuvre de ses orientations stratégiques en matière économique, sociale, environnementale et technologique. Il préfigure, à la demande du Premier ministre, les principales réformes gouvernementales. Il mène par ailleurs, de sa propre initiative, des études et analyses dans le cadre d'un programme de travail annuel. Il s'appuie sur un comité d'orientation qui comprend onze membres, dont deux députés et deux sénateurs et un membre du Conseil économique, social et environnemental. Il travaille en réseau avec les principaux conseils d'expertise et de concertation placés auprès du Premier ministre : le Conseil d'analyse économique, le Conseil d'analyse de la société, le Conseil d'orientation pour l'emploi, le Conseil d'orientation des retraites, le Haut Conseil à l'intégration.

[www.strategie.gouv.fr](http://www.strategie.gouv.fr)